

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
Ассоциация технических университетов  
Студенческое научно-техническое общество имени Н.Е. Жуковского  
Научно-учебный комплекс «Машиностроительные технологии»  
ООО «КванторФорм»

Москва,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
3 - 6 апреля 2018г.



Всероссийская научно-техническая  
конференция студентов

## «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»

# Сборник тезисов

УДК 62

ББК 34

«Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 2 – 6 апреля, 2018, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана / отв. ред. Ю.А.Гладков. – Москва: ООО «КванторФорм», 2018. – 534 с.

*Посвящается 150-летию факультета «Машиностроительные технологии»*

Представленные материалы ежегодной всероссийской научной студенческой конференции по машиностроительным технологиям (тезисы докладов и научные статьи) могут служить учебным материалом для дополнительной углубленной подготовки студентов. В материалах конференции отражены современные достижения профильных кафедр Российских ВУЗов в области машиностроения по 13 технологическим направлениям, в числе которых обработка металлов давлением, сварка, прокатка, технологии резания, литья, материаловедения, метрологии и другие.

Конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии» - это праздник студентов нашего факультета и родственных кафедр других вузов, где можно поделиться с коллегами своими открытиями, идеями и конструкциями. Поделиться радостью от результатов самостоятельно выполненной работы. Выслушать доклады товарищей и зарядиться энтузиазмом, почувствовать вкус к труду ученого. Конференция проходит с 2007 года. В 2007 работали подсекции только кафедры «Обработка металлов давлением» (МТ-6), а с 2008 года участвуют все кафедры факультета «Машиностроительные технологии» (МТ) МГТУ им. Н.Э.Баумана. Конференция всероссийская: за все годы проведения в ней приняли участие представители более 40 вузов и колледжей России и СНГ, сделано 1850 докладов.

Цель конференции – предоставить возможность рассказать о самостоятельно выполненных научно-исследовательских проектах, обменяться идеями и опытом, соотнести уровень собственных разработок с работами других студентов.

Сердцем конференции является постоянно действующий сайт – [www.studvesna.ru](http://www.studvesna.ru). На нем собрана коллекция трудов за все годы работы. Каждый участник и руководитель может найти тезисы и статьи по своим выступлениям. По итогам конференции ежегодно публикуются тезисы в электронном сборнике трудов, лучшие статьи публиковались в журналах «Молодежный научный вестник МГТУ», «Наука в образовании» и в профильных журналах кафедр.

*Ключевые слова:* обработка резанием, технология машиностроения, метрология, литейные технологии, технологии обработки давлением, моделирование в QForm, технологии сварки, материаловедение, промышленный дизайн, технологии прокатки, электронные технологии, лазерные технологии, реновационные технологии.

Редактор: Гладков Ю.А.  
Дизайн, верстка: Олейник К.Ю.

## Содержание

Организаторы.....	4
Состав оргкомитета .....	5
Порядок проведения конференции .....	7
Секция 1. Металлорежущие станки .....	9
Секция 2. Инструментальная техника и технология .....	45
Секция 3. Технология машиностроения .....	86
Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость .....	132
Секция 5. Литейные технологии .....	168
Секция 6. Технологии обработки давлением .....	196
Секция 7. Технологии сварки и диагностики .....	235
Секция 8. Материаловедение в машиностроении .....	273
Секция 9. Промышленный дизайн .....	340
Секция 10. Оборудование и технологии прокатки .....	355
Секция 11. Электронные технологии в машиностроении .....	412
Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении .....	477
Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении .....	496
Спонсоры.....	533

**Всероссийская научно-техническая конференция студентов  
«Студенческая научная весна:  
Машиностроительные технологии»  
2-6 апреля 2018 года**

***Организаторы:***

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
**Ректор Александров Анатолий Александрович**

Ассоциация технических университетов  
**Исполнит. директор Федоров Владимир Георгиевич**

Студенческое научно-техническое общество им. Н.Е. Жуковского  
**Председатель Шевчун Владимир Николаевич**

Научно-учебный комплекс «Машиностроительные технологии»  
**Руководитель Колесников Александр Григорьевич**

ООО «КванторФорм»  
**Генеральный директор Стебунов Сергей Александрович**

Председатель конференции  
**Руководитель Колесников Александр Григорьевич**

Заместитель председателя конференции  
**Декан Игнатов Алексей Владимирович**

Контактная информация конференции:

Сайт: [www.studvesna.ru](http://www.studvesna.ru)

E-mail: [stud-vesna@yandex.ru](mailto:stud-vesna@yandex.ru)



**Состав комитета  
Всероссийской научно-технической конференции студентов  
«Студенческая научная весна 2018: Машиностроительные технологии»**

**Председатель:**

**Колесников Александр Григорьевич**, доктор технических наук, профессор,  
руководитель научно-учебного комплекса «Машиностроительные технологии»

**Научный комитет**

*Евсюков Сергей Александрович*                      председатель научного комитета, зав. каф. МТ-6, д.т.н., проф.

*Стебунов Сергей Александрович*                      сопредседатель научного комитета, директор ООО «КванторФорм», к.т.н.

**Секция 1. Металлорежущие станки и оборудование**

*Утенков Владимир Михайлович*                      зав. каф. МТ-1, д.т.н., проф.

*Руднев Сергей Кириллович*                              ассистент МТ-1

**Секция 2. Инструментальная техника и технологии**

*Древаль Алексей Евгеньевич*                              зав. каф. МТ-2, д.т.н., проф.

*Мальков Олег Вячеславович*                              к.т.н., доц. МТ-2

**Секция 3. Технологии машиностроения**

*Васильев Александр Сергеевич*                              зав. каф. МТ-3, д.т.н., проф.

*Зайцев Александр Вячеславович*                              к.т.н., доц. МТ-3

**Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость**

*Пронякин Владимир Ильич*                                      зав. каф. МТ-4, д.т.н., проф.

*Комишин Александр Сергеевич*                              д.т.н., доц. МТ-4

**Секция 5. Литейные технологии**

*Коротченко Андрей Юрьевич*                                      зав. каф. МТ-5, д.т.н., проф.

*Савохина Ольга Михайловна*                                      старший преподаватель МТ-5

**Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением**

*Евсюков Сергей Александрович*                                      зав. каф. МТ-6, д.т.н., проф.

*Рыжкова Александра Александровна*                                      ассистент МТ-6

**Секция 7. Технологии сварки и диагностики**

*Коновалов Алексей Викторович*                                      зам. зав. каф. МТ-7, д.т.н., проф.

*Прилуцкий Максим Викторович*                                      к.т.н., доц. МТ-7

**Секция 8. Материаловедение в машиностроении**

*Плохих Андрей Иванович*                                      зам. зав. каф. МТ-7, д.т.н., доц.

*Шевченко Светлана Юрьевна*                                      к.т.н., доц. МТ-8

### **Секция 9. Промышленный дизайн**

*Терехова Наталья Юрьевна* зам. зав. каф. МТ-9, к.т.н., доц.

### **Секция 10. Оборудование и технологии прокатки**

*Семенов Иван Евгеньевич* проф. каф. МТ-10, д.т.н.

*Миронова Мария Олеговна* ассистент МТ-10

### **Секция 11. Электронные технологии в машиностроении**

*Панфилов Юрий Васильевич* зав. каф. МТ-11, д.т.н., проф.

*Бычков Сергей Павлович* старший преподаватель МТ-11

### **Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении**

*Григорьянц Александр Григорьевич* зав. каф. МТ-12, д.т.н., проф.

*Богданов Александр Владимирович* доц. каф. МТ-12, к.т.н.

### **Секция 13. Реновационные технологии**

*Ступников Владимир Петрович* зав. каф. МТ-13, д.т.н., проф.

*Соловьева Анастасия Андреевна* ассистент МТ-13

### **Организационный комитет**

*Комшин Александр Сергеевич* председатель организационного комитета, д.т.н., доцент, каф. МТ-4

*Гладков Юрий Анатольевич* сопредседатель организационного комитета, к.т.н., доцент каф. МТ-6, руководитель отдела ООО «КванторФорм»

*Масленникова Екатерина Викторовна* организационная работа, разработка программы конференции, аспирант, ассистент каф. МТ-4

*Метелкина Екатерина Дмитриевна* работа с ответственными по секциям, аспирант, ассистент каф. МТ-4

*Сырццкий Антони Борисович* организационная работа, обеспечение работы с информационными изданиями, к.т.н., доцент каф. МТ-4

*Тумакова Екатерина Владимировна* организационная работа и сбор материалов конференции, аспирант, ассистент каф. МТ-4

*Токарева Анна Сергеевна* руководитель коллектива студентов по регистрации и сбору тезисов, переписка с участниками, сбор и загрузка материалов на сайт конференции, студент группы МТ6-62

*Олейник Константин Юрьевич* сбор/обработка тезисов, формирование сборника тезисов, студент МТ6-62

*Аношко Полина Владимировна* обработка заявок, переписка с участниками, студент МТ2-62

*Моисеев Иван Николаевич* обработка заявок, списки на проходную студент МТ6-61

**Волонтеры конференции**

*Чаткин Игорь Михайлович (МТ3-109), Огай Илья Александрович (МТ12-41), Якубова Ширин Уктамжон кизи (МТ12-4), Каракаева Танзиля Галеевна (МТ4-41).*

**Порядок проведения****Всероссийской научно-технической конференции студентов****«Студенческая научная весна 2018: Машиностроительные технологии»**

2 апреля 2018г., понедельник		
Заезд и поселение иногородних участников конференции		
3 апреля 2018г., вторник		
Регистрация участников		
10:00-10:45	Регистрация участников конференции Вручение свидетельств участника конференции	Главный учебный корпус (ГУК), МЗДК (Малый зал дворца культуры, над Домом Физики)
11:00-11:20	Торжественное открытие конференции. Руководитель НУК МТ А.Г. Колесников, декан Факультета МТ А.В. Игнатов	ГУК, МЗДК
11:20-11:50	Ершов А.С. - прошлое и настоящее. Доклад об истории жизни и основных вехах творческого пути одного из основателей факультета МТ и МГТУ им. Н.Э. Баумана в целом - Ершова Александра Степановича (к 200-летию со дня рождения и 150-летию факультета). Праправнучка Ершова А.С. Мелешкова Марина Светозаровна.	ГУК, МЗДК
11:50-12:30	Индустрия 4.0 и цифровая экономика в машиностроении Доцент каф. «Метрология и взаимозаменяемость» А.С. Комшин	ГУК, МЗДК
Заседание научных секций		
14:00-17:00	Секция 1. Металлорежущие станки и оборудование	ГУК, каф. МТ-1, ауд. 114
	Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость	
14:00-18:00	Подсекция 4-1. Информационно-метрологическое обеспечение жизненного цикла машин и механизмов	Корпус МТ, каф. МТ-4, ауд. 218
14:00-18:00	Подсекция 4-2. Метрологическое обеспечение промышленности	Корпус МТ, каф. МТ-4, ауд. 223
14:00-18:00	секция 5. Литейные технологии.	Каф. МТ-5, помещение 23
	Секция 11. Электронные технологии в машиностроении	
17:15-20:00	Подсекция 11.2. Электронные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф. МТ-11, ауд. 304
14:00-18:00	Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении.	Корпус МТ, ауд. 212 (ротонда)
4 апреля 2018г., среда		
Заседание научных секций		
	Секция 2. Инструментальная техника и технологии.	
11:00-14:00	Подсекция 2-1. Резание и физико-техническая обработка деталей машин	ГУК, каф. МТ-2 (Инструментальный кабинет)
14:00-	Подсекция 2-2. Конструирование, технология	ГУК, каф. МТ-2 (Инструментальный кабинет)

17:00	изготовления и эксплуатация режущего инструмента и технологической оснастки	кабинет)
10:00-15:00	Секция 3. Технологии машиностроения	ГУК, каф. МТ-3, ауд.299a
	Секция 7. Технологии сварки и диагностики.	
11:00-16:00	Подсекция 7.1. Сварка	Каф. МТ-7, ауд. 209 (Зал заседаний)
11:00-16:00	Подсекция 7.2. Диагностика	Каф. МТ-7, ауд. 217
	Секция 8. Материаловедение в машиностроении.	
11:00-14:00	Подсекция 8-1. Термическая обработка сталей и чугунов	ГУК, каф. МТ-8, ауд.3
11:00-14:00	Подсекция 8-2. Термическая обработка цветных сплавов	ГУК, каф. МТ-8, ауд.2
11:00-14:00	Подсекция 8-3. Композиционные и неметаллические материалы	ГУК, каф. МТ-8, ауд.15
11:00-14:00	Подсекция 8-4. Химико-термическая обработка и покрытия	ГУК, каф. МТ-8, ауд.11
15:00-18:00	Секция 9. Промышленный дизайн.	ГУК, ауд.230
	Секция 10. Оборудование и технологии прокатки.	
11:00-14:00	Подсекция 10-1. Технологии и оборудование для производства труб и профилей	ГУК, ауд. 200аю
11:00-15:00	Подсекция 10-2. Оборудование и технологии для получения проката	ГУК, ауд. 100аю
	Секция 11. Электронные технологии в машиностроении	
15:40-18:00	Подсекция 11.1. Микро- и нанотехнологии	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 304
11:00-15:00	секция 13. Реновационные технологии в машиностроении.	Корпус МТ, каф. МТ-13 ауд. 104
<b>5 апреля 2018г. Четверг</b>		
<b>Заседание научных секций</b>		
	Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением.	
10:00-13:00	Подсекция 6-1. Моделирование технологических процессов ОД	ГУК, ауд. 229 «Преподавательский читальный зал»
10:00-13:00	Подсекция 6-2. Проектирование технологических процессов и оборудования ОД	Здание каф. МТ-6, Учебно-методический кабинет
<b>Пленарная секция</b>		
15:00-17:00	Выбор лучшего доклада всей конференции. Заслушивается по одному докладу от кафедры. Приглашаются все участники конференции, а также преподаватели и аспиранты кафедр	ГУК, ауд. 229 «Преподавательский читальный зал»
<b>6 апреля 2018г. Пятница</b>		
15:40-17:00	<b>Торжественное закрытие конференции Вручение дипломов за лучшие работы.</b>	<b>ГУК, ауд.213 (Читальный зал старших курсов, над книгохранилищем)</b>
Отъезд иногородних участников конференции		

## **Секция I**

### **Металлорежущие станки и оборудование**

Председатель:

**Утенков Владимир Михайлович**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-1

Ученый секретарь:

**Руднев Сергей Кириллович**

ассистент кафедры МТ-1

**УДК 621.941.1****ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ЗАМЕНЫ ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫМ ТОЧЕНИЕМ ПРИ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ**

Ярослав Владимирович Александров

*Студент 4 курса, бакалавриат**кафедра «Металлорежущие станки»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: Л.И. Вереина,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки»*

На сегодняшний день сокращение станочных линий и продолжительности производственного цикла при повышении гибкости производства на всех металлообрабатывающих предприятиях является очень актуальным вопросом. Одной из областей, где активно развивается тенденция рационализации технологического процесса является высокоточная обработка заготовок высокой твердости. Благодаря развитию машиностроительного производства была предложена оптимизация данного процесса путем замены круглого шлифования «твердым точением». «Твердое точение» представляет собой обработку материалов твердостью выше HRC 47. Принцип точения закаленной стальной поверхности заключается в том, что в зоне среза из-за специально подобранной геометрии инструмента и режимов резания обрабатываемый материал нагревается и пластифицируется. В результате получается не элементная и не сливная стружка: она как бы течет. Если твердость материала составляет HRC 62, то в зоне среза пластифицированный материал имеет твердость HRC 25, а полученная стружка — HRC 45. Твердость готовой детали после обработки уменьшается всего на одну-две единицы. Поскольку силы резания велики, такую обработку применяют в качестве финишной операции с глубиной резания 0,1...0,3 мм [1]. Целесообразность замены шлифования «твердым точением» объясняется различными факторами. Основные преимущества этой технологии приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1. Сравнение технологических особенностей шлифования и твердого точения

Шлифование	Твердое точение
1. Большое время настройки	1. Быстрая переналадка
2. Сложность обработки переходов	2. Обработка с одного установа
3. Большое время обработки	3. Минимальное время обработки
4. Минимальный съем	4. Большая глубина резания
5. Фасонные шлифовальные круги	5. Профильная обработка одним резцом
6. Высокая стоимость производства	6. Минимальные вложения
7. Вредная абразивная пыль	7. Чистый процесс резания
8. Требуется смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ)	8. Обработка производится без СОЖ

Одним из основных показателей, делающих «твердое точение» экономически выгодным по сравнению с шлифованием является время изготовления одной и той же детали – оно будет снижено до 70%. Так, например, при обработке кольца подшипника (рис. 1) по стандартной технологии время шлифования составляет 12 минут, а по технологии твердого точения (на станках фирмы HEMBRUG) – 86 секунд [3].

- Материал: 100Cr6**  
**Твердость: 64 - 66 HRC**  
 , , **Конусность A: 1 мкм**  
 ○ **Ø 54: < 1 мкм**  
 ▣ **Ø 54: 1.5 мкм**  
 ◎ **AB: 1 мкм**  
**Ra: < 0,1 мкм**

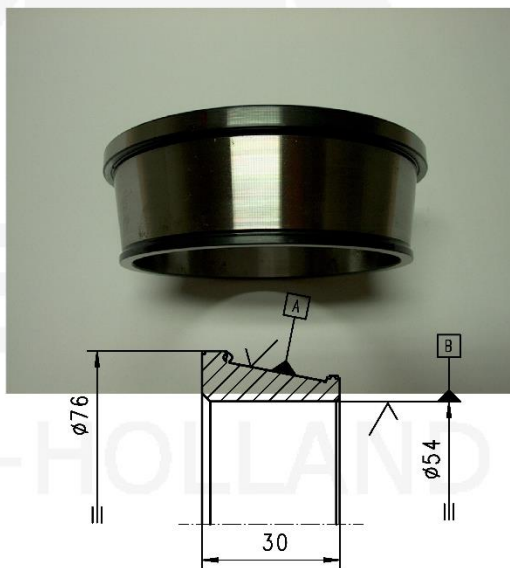


Рис. 1. Кольцо подшипника

При использовании технологии «твердого точения» возможна обработка сложнопрофильных заготовок одним резцом, что заметно снижает время обработки и ее стоимость. Обработка происходит с одного установа одним резцом. В случае шлифования необходимо применение трудоемкой правки шлифовальных кругов, либо применение различных стандартных абразивных кругов с обработкой каждой из поверхностей своим кругом, что видно из рис.2. Это сильно увеличивает время обработки, так как необходимо переустанавливать инструмент и переналаживать оборудование, либо каждый раз переустанавливать заготовку на новый станок.



Рис. 2. Изготовление детали методами шлифования и «твердого точения»

Из табл. 2 видно, что процесс «твердого точения» не уступает по выходным параметрам шлифованию, что делает его пригодным для высокоточной обработки заготовок.

Таблица 2. Сравнение выходных параметров процессов шлифования и твердого точения

	Твердое точение	Шлифование
Количество удаляемого материала	150-1500 мм <sup>3</sup> /мин	10-60 мм <sup>3</sup> /мин
Круглость	0,5-1 мкм	0,2-0,5 мкм
Шероховатость <i>Ra</i>	0,2-0,5 мкм	0,1-0,4 мкм
Шероховатость <i>Rz</i>	1,5-4 мкм	1-3 мкм
Класс точности	IT 4-5	IT 3-4

Таким образом «твердое точение» на 30...70 % экономичнее шлифования: объем снимаемого материала в 2–3 раза ниже, при этом стоимость токарного станка повышенной точности ниже стоимости шлифовального, нет необходимости в применении смазочно-охлаждающих жидкостей, время обработки при точении ниже до 70%, чем при шлифовании. Затраты на трудовые ресурсы и постоянные издержки многократно ниже в случае обработки заготовок точением. Графические диаграммы, обосновывающие экономическую эффективность «твердого точения», представлены на рис. 3 [4].

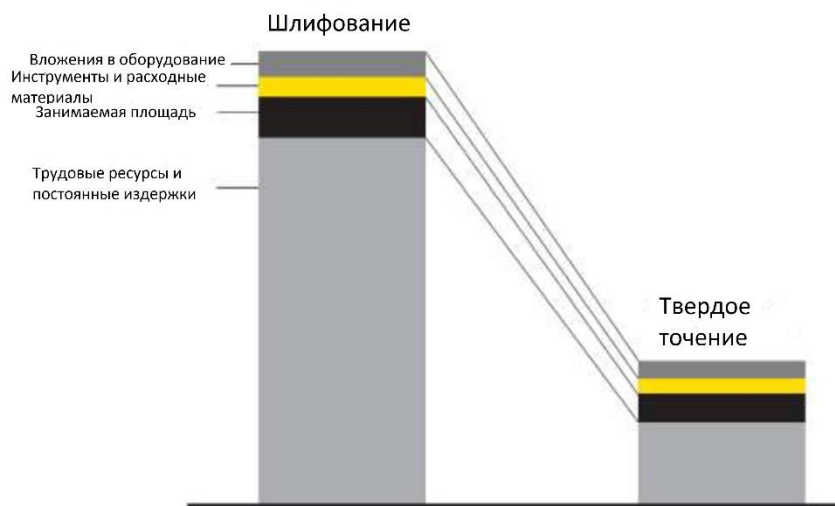


Рис.3. Оценка затрат на операции шлифования и твердого точения

К оборудованию и инструменту с помощью которого производится обработка предъявляются особые требования, обеспечивающие его пригодность.

Инструмент, используемый при «твердом точении», должен отвечать определенным требованиям, делающим его пригодным для данного вида обработки:

- Высокие твердость, прочность и износостойкость должны сохраняться при повышенной температуре, чтобы режущий инструмент имел устойчивость к термическому воздействию.
- Высокая динамическая прочность: идеальный режущий инструмент должен выдерживать ударную нагрузку в таких условиях, которые возникают из-за внезапного столкновения с микроструктурами заготовки и поэтому должны выдерживать динамически изменяющуюся нагрузку.
- Высокая износостойкость.

Наиболее распространенными инструментальными материалами для «твердого точения», являются керамика, карбиды, CBN и PCBN. Наиболее широко используемым инструментальным материалом является CBN, так как он имеет высокую твердость и хорошую теплостойкость. Из графика на рис. 4 видно, что CBN более устойчив при повышенных температурах около 1300° С, где алмаз стабилен только до отметки 800 °С, за которой он начинает демонстрировать значительное снижение твердости [4].



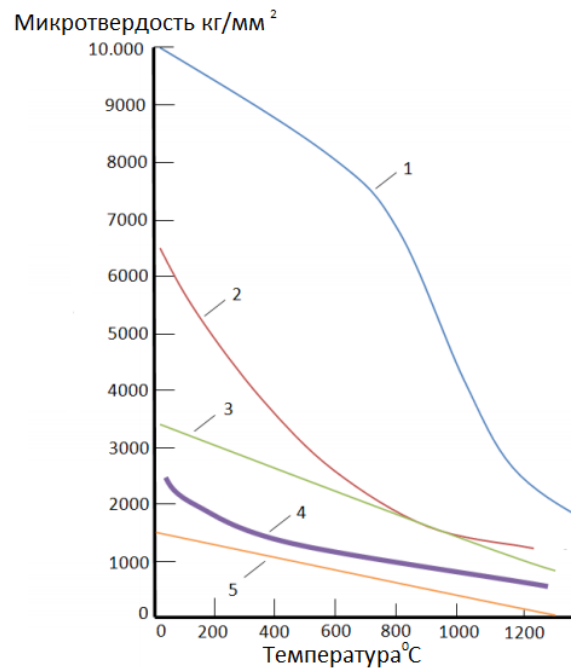


Рис. 4. Зависимость изменения твердости от температуры для различных инструментальных материалов:

1 – алмаз; 2 – CBN; 3 – SiC; 4 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5 – 92% Wc, 8% Co

Процесс твердого точения сопровождается большими силами резания, что накладывает определенные требования на металлорежущее оборудование. Токарный станок для твердого точения должен иметь высокую статическую и динамическую жесткость, быть виброустойчивым, защищенным от термических воздействий. Основной тенденцией при конструировании станков для «твердого точения» является применение гидростатического шпинделя и гидростатических направляющих.

Шпиндельные узлы с гидростатическими опорами отличаются высокой жесткостью и точностью вращения, отсутствием износа, способностью работать с высокими нагрузками, хорошей демпфирующей способностью, отсутствием металлического контакта при пуске шпинделя. Данные характеристики шпиндельных узлов с гидростатическими опорами обусловили их применение в токарных станках для точения закаленной стальной поверхности.

Учитывая тот факт, что наибольшее влияние на процесс точения закаленной стальной поверхности оказывает статическая и динамическая жесткость станка, можно прийти к выводу о необходимости использования специальных направляющих для станков. Как известно, они выполняют несколько основных функций: обеспечение прямолинейности движения исполнительного органа, компенсацию динамических нагрузок, возникающих при резании, и демпфирование возникающих вибраций в зоне резания. Компенсация сил и вибраций наиболее важна для точения закаленной стальной поверхности, поскольку определяет шероховатость обработанной поверхности и период стойкости инструмента. Применение гидростатических направляющих позволяет устранить эту проблему. Направляющие данного типа обеспечивает хорошую способность к демпфированию, поскольку каретки и направляющие разделены слоем масла.

Немецкая фирма Hemburg использует в своем оборудовании гидростатические опоры шпинделя и гидростатические направляющие, фундамент из натурального

гранита, на который опирается стальная станина, залитая полимерным бетоном. Между гранитным основанием и станиной станка имеются демпферы, которые амортизируют все вибрации с амплитудой выше 7 Гц [5]. Фундамент из натурального гранита не имеет внутренних напряжений, обладает превосходными свойствами демпфирования и низким коэффициентом теплового расширения, а, следовательно, высокой термической устойчивостью. Все эти свойства делают натуральный гранит идеальным материалом для создания станков для высокоточного точения закаленной стальной поверхности. Совокупность применяемых конструкторских решений позволяет изготавливать станки, способные обрабатывать заготовки из твердых материалов с высокой точностью.

#### **Выводы:**

Применение твёрдого точения взамен шлифования труднообрабатываемых материалов с сохранением сопоставимой точности обработки даёт следующие преимущества:

1. время обработки снижается до 70%;
2. затраты на трудовые ресурсы резко падают.

#### **Литература**

1. *Вереина Л.И.* Технологическое оборудование машиностроительного производства. – М.: Академия, 2015. – 448 с.
2. *Engg Jakub Siwiec* Hard Turning vs. Grinding – economical aspects. Режим доступа: <http://stc.fs.cvut.cz/history/2011/sbornik/papers/pdf/1100059-1.pdf> (дата обращения 24.02.2018).
3. Ультрапрецизионные токарные станки Hembrug. Режим доступа: <http://www.hembrug.com/machine-construction> (дата обращения 24.02.2018).
4. *Waleed Bin Rashid* Surface Defect Machining – A New Approach for Hard Turning: A dissertation Submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Edinburgh., 2014. 141 с.
5. *Трофимов В.В., Несмеянов Е.А.* Регулирование амплитуды колебаний инструмента при обработке на многошпиндельных станках для твердого точения. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011, – № 3, С. 61–65.

#### **УДК 621.09**

### **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЫХ СТАНИН МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Мовчан Александр Андреевич<sup>1</sup>, Дедушев Сергей Дмитриевич<sup>1</sup>, Плетнев Виталий Андреевич<sup>2</sup>

*Студенты 3 курс, бакалавриат<sup>1</sup>, студент 5 курса<sup>2</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель на кафедре «Металлорежущие станки»*

При изготовлении конкурентоспособной и высококачественной продукции следует соблюдать высокий уровень надежности металлорежущего оборудования, тогда такое оборудование будет пользоваться широким спросом не только на внутреннем, но и на внешнем рынке.

Для металлорежущего станка одной из ответственных деталей служит станина – неподвижная базовая часть, на которой размещаются остальные ее узлы, и от прочности, твердости и износостойкости которой зависит работа всего станка. Станина воспринимает усилия, действующие на нее при работе, со стороны других узлов и механизмов, и должна обеспечивать точное взаимное расположение между всеми узлами станка.

Одним из важнейших свойств станин металлорежущих станков являются: жесткость, износостойкость и пр.

Наиболее простым и дешевым способом изготовления станин является литье. Однако, для повышения эксплуатационных характеристик литых станин, нужно обеспечить определенную структуру и твердость для этих станин, чего можно добиться разными способами. Это и есть главная задача литейного производства. Основным и наиболее эффективным способом является правильность выбора состава металла и скорость охлаждения отливок.

Чугун используют для изготовления станин, так как такие станины имеют небольшую себестоимость, большую виброустойчивость и к тому же их легче обрабатывать.

При обеспечении требуемой структуры чугуна литой станины, скорость охлаждения оказывает существенное влияние на нее. Соответственно применяют подогрев формы отливки для того, чтобы выровнять скорость охлаждения.

С повышением эксплуатационных характеристик станин металлорежущих станков, сокращение брака при литье является важной задачей производства. Для того, чтобы предотвратить брак при литье, нужно проанализировать возникновение всех дефектов или произвести процедуру по предупреждению дефектов, так как при литье видов дефектов достаточно много, например: газовые раковины, складчатость, усадочные раковины, ситовидная пористость, усадочная пористость, горячие трещины и др.

Газовые раковины – это групповые и одиночные полости в теле отливки, которые образуются выделившимися из металла или внедрившимися газами в металл.

Складчатость – участки и углубления, расположенные беспорядочно с бесформенными краями.

Усадочные раковины – полости в теле отливки, имеющие шероховатую кристаллическую поверхность.

Ситовидная пористость – вытянутые раковины с гладкими стенками, находящиеся под литейной коркой или на поверхности.

Усадочная пористость – мелкие полости, расположенные между дендритами сплава. Образуются в утолщенных местах отливках.

Горячие трещины – участки ее никогда не бывают одинаковыми, обычно образуются из-за быстрой скорости охлаждения, поэтому нужно уменьшать перепад температур при литье станин металлорежущего оборудования.

В настоящее время имеются различные методы для предотвращения дефектов и их диагностики в отлитых станинах и других корпусных деталях машин. Однако, методы обнаружения дефектов и их устранения требуют дальнейших исследований и улучшения. Поэтому, чтобы создать комплексную методику литья станин металлорежущего оборудования стоит произвести множество исследований и выбрать

наиболее эффективные способы для точного устранения и предупреждения всех дефектов, возникающих при литье.

### **Литература**

1. Ягопольский А.Г., Куца А.Ю., Савохина О.М., Зайцев А.Н. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 3 (660). С. 35-41. Повышение эксплуатационных характеристик литых станин и корпусных деталей на стадии их изготовления
2. Ягопольский А.Г., Озерова Е.С., Савохина О.М. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 1 (670). С. 87-93. Взаимосвязь характеристик формовочных материалов с качеством литых станин металлорежущих станков

**УДК 621.09**

### **ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

Мовчан Александр Андреевич<sup>1</sup>, Дедушев Сергей Дмитриевич<sup>1</sup>, Плетнев Виталий Андреевич<sup>2</sup>

*Студенты 3 курса, бакалавриат<sup>1</sup>, студент 5 курса<sup>2</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель на кафедре «Металлорежущие станки»*

Существует несколько основных причин возникновения температурных деформаций в конструкциях металлорежущих станков это:

- теплообразование в зоне резания;
- теплообразование в узлах, механизмах станка, задействованных в работе;
- влияние окружающей среды.

Наиболее пагубное влияние на работу металлорежущего станка оказывают деформации его узлов и механизмов, вызванные нестабильностью теплового поля станка. Такие деформации могут существенно снизить точность размеров и формы обрабатываемых заготовок. В следствие чего понижается надежность и точность станка в целом.

В большинстве случаев температурные деформации возникают от действия сил трения и резания. Под действием этих сил происходит нагревание несущей системы станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки.

Существует несколько видов снижения воздействия теплового поля на конструкцию станка:

- расположение наиболее нагреваемых узлов и механизмов за пределами станка;
- применение СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость) в зоне резания;
- применение дополнительных методов охлаждения узлов станка;
- создание специализированных цехов с постоянной температурой внутри цеха;
- применение методов уравнивания теплового поля с помощью изменения температуры отдельных узлов станка;

- создание методов автоматической компенсации тепловых деформаций, таких как: применение коррекционных линеек в универсальных станках и использование предыскажения управляющей программы в станках с ЧПУ;

Основные меры по борьбе с воздействием теплового поля на конструкцию станка-это:

- снижение самих температурных деформаций. Для этого используется конструкторско-технологический способ, который подразумевает: снижение теплоотдачи, снижение тепловыделений;

- снижение степени влияния температурных деформаций на работу станка. Для этого используется программный метод, в рамках которого происходит: управление температурными деформациями станка, повышение теплоустойчивости станка, коррекция температурных деформаций.

Способы коррекции погрешности станков от степени воздействия теплового поля разделяются на несколько видов:

- абсолютная стабилизация положения рабочих органов станка, несущих заготовку или режущий инструмент относительно заданного для них положения;

- относительная стабилизация – изменение относительного положения рабочих органов станка относительно друг друга.

На практике коррекция воздействия теплового поля обычно происходит за счет:

- предыскажения управляющей программы;

- изменения сигналов, выдаваемых системой ЧПУ, и передаваемых на приводы подач рабочих узлов и механизмов станка

- внедрения специализированных корректирующих устройств и элементов в конструкцию станка, управление которыми происходит через систему ЧПУ.

При выборе способа коррекции необходимы также учитывать стоимость, надежность, требования по точности обработки и др. А при выборе принципа работы данного способа коррекции воздействия теплового поля, необходимо, чтобы он в себе сочетал:

- воздействие на управляющую программу;

- воздействие на управляющие сигналы;

- использование специализированных корректирующих элементов;

- использование микропроцессов, влияющих на приводы подач станка на программном уровне, а также компенсирующих температурные погрешности с помощью специально созданных программ коррекции.

## Литература

1. Ягопольский А.Г., Винников Д.А.

Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 1 (682). С. 71-78.

Сравнительный анализ и обобщение способов коррекции температурных деформаций в металлорежущих станках

2. Ягопольский А.Г., Крикунов Д.Э.

Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Серия: Машиностроение. 2014. № 5 (98). С. 98-105. Анализ коррекции тепловых деформаций станках

## УДК 621.09

### ДИАГНОСТИКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Андреевич Мовчан<sup>1</sup>, Сергей Дмитриевич Дедушев<sup>1</sup>, Мария Геннадьевна Серова<sup>1</sup>, Виталий Андреевич Плетнев<sup>2</sup>

*Студенты 3 курса, бакалавриат<sup>1</sup>, студент 5 курса<sup>2</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель на кафедре «Металлорежущие станки»*

Как известно, в металлорежущих станках основным критерием работоспособности, является точность геометрических размеров и формы полученного изделия. Из этого следует, что траектория движения формообразующих узлов станка является основным показателем точности работы станка, а также первостепенным объектом для измерения при программном испытании станка.

Существуют различные методы диагностирования, которые могут отличаться, по содержанию проводимых испытаний, глубине исследования, а также по ряду других параметров, предъявляемых к станку. Несмотря на это, последовательность проводимых испытаний, а также логика анализа при оценке качества станка должны быть едиными для различных случаев, а также универсальными относительно объекта диагностирования. Диагностика по траектории движения формообразующих узлов, например, суппорт токарного станка, где для приближения можно рассматривать траекторию формообразующей точки режущего инструмента, закреплённого на суппорте.

Для анализа станка необходимо сформулировать вводные данные – номинальные характеристики станка, включая номенклатуру параметров и самой траектории.

Необходимыми данными для анализа станка являются результаты испытаний по исследованию траектории движения формообразующих узлов станка. Сами испытания могут проводиться с помощью трёх способов: генерирование на основе метода статических испытаний (Монте – Карло); при программном нагружении; при обработке заготовок – тестов. Сами же измерения проводятся при: перемещении ненагруженного узла; перемещении узла под нагрузкой; константном температурном состоянии испытываемого станка.

При диагностике станка рассматривают и анализируют возможные причины неработоспособности станка в настоящем и будущем. При этом оценивают параметры, от которых зависят эти причины, а также определяют способы устранения их негативного влияния.

Можно использовать следующую последовательность диагностирования:

1. Произвести анализ параметров при прогревом станке;
2. При различных состояниях станка выполнить оценку параметров, у которых запас надежности меньше или равен единице при полном цикле нагружений;
3. Определить причины потери работоспособности станка.

Итоговые результаты диагностирования станка включают:

- Оценку состояния с указанием запасов надежности по важнейшим выходным параметрам;

- Перечень причин отказов станка с течением времени;
- Список методов устранения дефектов, которые приводят к параметрическим отказам;
- Заключение о использования станка.

### **Литература**

1. Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю.

Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 5 (674). С. 84-90.  
Аппаратно-программное обеспечение исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла

2. Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю.

Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 3 (672). С. 49-55.  
Мехатронный комплекс диагностических испытаний и прогнозирования надежности токарных станков

3. Васильев Г.Н., Ягопольский А.Г.

Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2010. № 2. С. 91-105. Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров траекторий перемещения суппортных узлов

4. Ягопольский А.Г., Волохов В.А.

Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2006. № 4. С. 44-47.

Перспективные методы испытания металлорежущих станков

5. Васильев Г.Н., Ягопольский А.Г., Трemasов А.П.

СТИН. 2003. № 7. С. 14. Проблемы диагностики и обеспечение надежности металлорежущих станков

### **УДК 621.82.2**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА АГРЕГАТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАТРИЦ ГРАНУЛЯТОРОВ**

Василий Константинович Жёлтиков, Александр Алексеевич Петров

*Студенты 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств», ГБПОУ г. Москвы "Колледж связи № 54" им. П.М. Вострухина*

*Научный руководитель: В.А. Ванин,*

*к.т.н., преподаватель ГБПОУ г. Москвы "Колледж связи № 54" им. П.М. Вострухина*

Основными показателями, характеризующими металлорежущие станки, являются точность изготовления деталей и производительность самого технологического оборудования. Конструкции современных металлорежущих станков, особенно станков с ЧПУ, имеют высокую жесткость, виброустойчивость, точность перемещения формообразующих узлов. В настоящее время передовые станкостроительные фирмы выпускают многооперационные станки с ЧПУ,

оснащенные отрицательной обратной связью (имеющие датчики положения и скорости), которые обеспечивают изготовление деталей с точностью до микрометра. Однако производительность металлообработки на таких станках не всегда может конкурировать с изготовлением деталей нормальной точности на специальных видах оборудования. В данной работе приводятся результаты исследования по повышению производительности изготовления цилиндрических матриц грануляторов для производства топливных пеллет. Повышение производительности базируется на применении принципа агрегатирования станочных систем.

Принцип агрегатирования станочных систем [1,2,3] заключается в создании различных станков и автоматических линий из нормализованных узлов, каждый из которых имеет определенное назначение и может работать самостоятельно от отдельного электрического, пневматического или гидравлического привода. Также этот принцип предполагает оптимальную концентрацию технологических операций обработки в одной рабочей машине. Концентрация операций состоит в том, что весь технологический процесс разбивается на ряд простейших операций обработки отдельных поверхностей детали, а затем эти операции объединяются в одном или нескольких многоинструментальных станках. Применение принципа агрегатирования станочных систем позволяет в десятки раз сократить время изготовления деталей, поскольку на каждом станке они одновременно обрабатываются многими инструментами. При этом резко повышается производительность труда, намного уменьшается число станков, необходимых для полной обработки деталей, сокращается занятая оборудованием площадь и уменьшается себестоимость изделий. Как и универсальные, агрегатные станки можно быстро переналадить при необходимости перехода на обработку новой детали: несколько узлов станка, непригодных для этой цели, заменяются другими, подобранными для новых условий обработки. С экономической точки зрения агрегатные станки в десятки раз дешевле современных многооперационных станков с ЧПУ.

Как показано выше, в данной работе рассматривается вопрос повышения производительности изготовления цилиндрических матриц грануляторов для производства топливных пеллет на основе агрегатирования станочных систем. Пеллеты являются основным видом топлива современных автоматизированных пеллетных котлов, получивших в последнее время широкое распространение для отопления индивидуальных домов. Особенно это актуально для районов, где отсутствует газовое снабжение. Одним из важных преимуществ пеллетных котлов для отопления загородных коттеджей и дач является дистанционное управление работой отопительного котла с помощью мобильного телефона (одна из инженерных систем «Умного дома»). В современных импортных котлах для этого устанавливаются GSM-модем с активированной SIM-картой. Пеллеты представляют собой цилиндрические гранулы стандартного размера диаметром 6-12 мм, длиной 20-50 мм, изготовленные путем прессования из древесной муки, ошкуренной и не ошкуренной древесины, отходов от лесопилок, деревообрабатывающих и мебельных производств. Изготавливают топливные пеллеты под высоким давлением (около 300 атм) и под влиянием высокой температуры (около 100°C) в специальных пресс-грануляторах.

Пресс-гранулятор представляет собой аппарат (рис.1), в котором подготовленное влажное сырье продавливается специальными катками через матрицы, имеющие отверстия определенного диаметра. Под действием давления и неизбежного повышения температуры выделяемый из древесины лигнин выполняет прочное склеивание мельчайших фрагментов в достаточно плотную структуру пеллет цилиндрической формы. Пресс-грануляторы выпускаются с двумя типами матриц: с цилиндрической и плоской. После каждого оборота матрицы получаемые пеллеты



срезаются специальным ножом. Такая технология изготовления позволяет производить топливные пеллеты одинаковой длины [4].



Рис.1. Работа гранулятора с цилиндрическими матрицами:  
а - принцип действия гранулятора; б - процесс формирования топливных пеллет

Передовые фирмы по производству пресс-грануляторов [5,6] процесс изготовления основной детали, цилиндрической матрицы, выполняют на станках с ЧПУ (рис. 2).



Рис.2. Сверление отверстий в цилиндрической матрице:  
а - на многооперационном станке с ЧПУ; б - на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ

В предлагаемой работе, применяя принцип агрегатирования станочных систем, технологическая операция сверления отверстий в цилиндрической матрице выполняется на агрегатном станке (рис. 3), оснащённом электромеханическими силовыми головками со сменными шпиндельными насадками, имеющими 2,3,4 одновременно работающих режущих инструмента. Разработанные конструкции механизмов перемещения и подъёма силовых головок управляются регулируемыми электроприводами на базе высокомоментных электродвигателей. Механизмы перемещения выполнены с применением ШВП (шариковые винтовые пары) и направляющих с опорами качения. Используя правила комбинаторики, составлены таблицы оптимального применения шпиндельных насадок, оснащённых 2-4 режущими инструментами в зависимости от количества отверстий большого ( $m$ ) и малого ( $n$ ) рядов цилиндрической матрицы, диаметра обрабатываемых отверстий ( $d$ ) и наружного диаметра матрицы ( $D$ ). Показано значительное увеличение производительности изготовления цилиндрических матриц для топливных грануляторов.

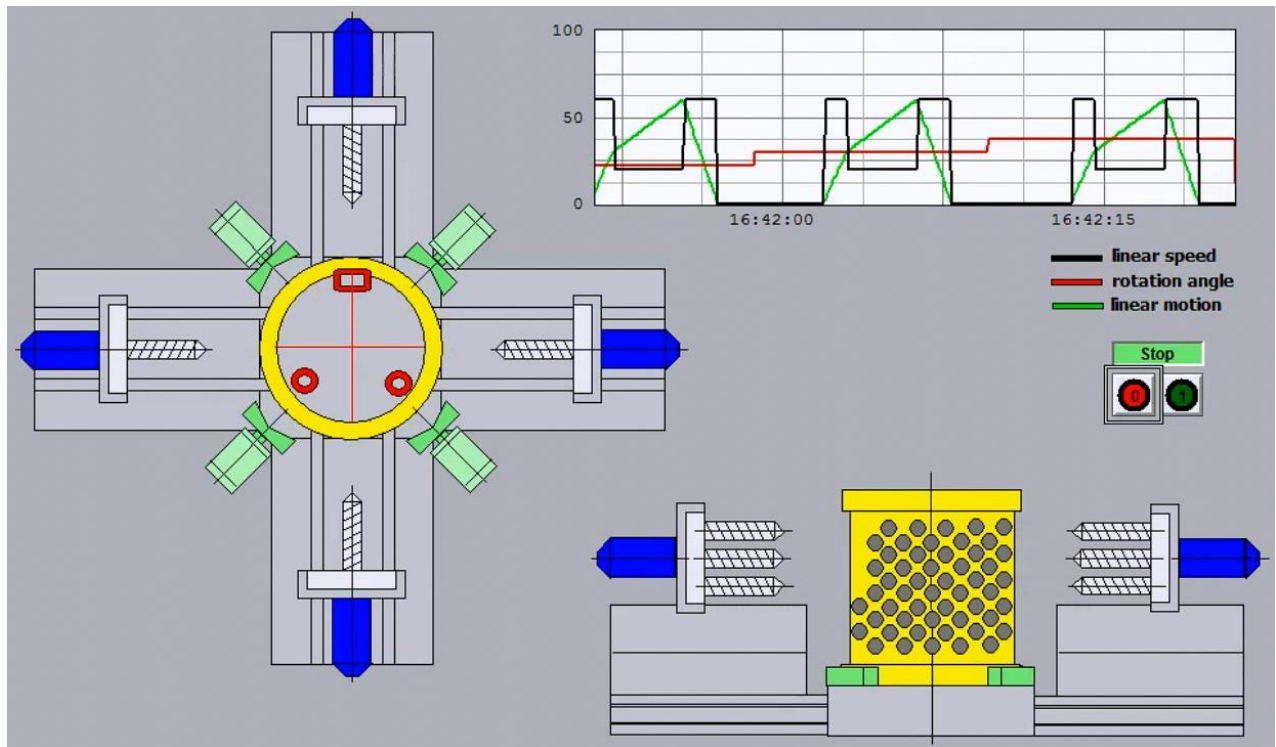


Рис.3. Моделирование процесса многоинструментальной обработки цилиндрической матрицы на агрегатном станке (среда In Touch)

### Список литературы

1. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: Учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2005. 380 с.
2. Дащенко А. И. и Шмелев А. И. Конструкции и наладка агрегатных станков. Учебн. пособие. Изд. 2-е, перераб. М.» «Высш. школа», 1970. 368 с.
3. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1973, 640 с.
4. <https://stroyvopros.net/raznoe/vse-o-pelletah-pravila-proizvodstva-standartyi-i-sposobyi-proverki-kachestva.html>
5. <http://fdspchina.en.made-in-china.com/product/gvfntLpOJqhz/China-Steel-Mold-Pellet-Mill-Accessories-Ring-Die.html>
6. [https://www.alibaba.com/product-detail/Germany-technology-stainless-steel-X46Cr13-Pellet\\_60487990178.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Germany-technology-stainless-steel-X46Cr13-Pellet_60487990178.html).

УДК 67.05

### СРАВНЕНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ И 3D ПРИНТЕРОВ

Эльдар Рафаэлович Каюмов , Дмитрий Ашвани Тйаги

*Студенты 3 курса, специалитет  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель кафедры “Металлорежущие станки”*

3D-печать считается самым сложным технологическим достижением и важным направлением современного производства. Благодаря трехмерным принтерам открываются новые возможности во всех отраслях экономики. Традиционно большая часть деталей обрабатывается на металлорежущих станках, но в век развития современных технологий у данного вида обработки появился конкурент – 3д печать. В данной статье даётся попытка разобраться, какие перспективы развития у одного и другого вида изготовления металлических изделий.

Рассмотрим наиболее распространенный способ изготовления деталей сложной конфигурации на фрезерных станках с ЧПУ. Этот процесс обработки материала известен уже более ста лет. Основными преимуществами данного технологического процесса являются: возможность задания точности обработки определённой поверхности и высокая скорость обработки. Из недостатков: чем сложнее изготавливаемая деталь, тем выше стоимость изготовления, при обработке резание большая часть металла уходит в стружку. Стоимость зависит от функциональности технологической машины: 3-осная машина (от 50 000 р, подходит для обработки плоских поверхностей), 4-осная машина (от 100000-900000 р, возможность вращения заготовки во время резания), 5-осная машина (2500000 р и выше). Производители стремятся снизить стоимость производства 5-осного металлорежущего станка.

Однако, благодаря трёхмерным принтерам появляются новые возможности в изготовлении различных деталей. 3D-печать считается самым сложным технологическим достижением и важным направлением аддитивного производства. Трёхмерные принтеры открывают новые возможности во всех отраслях экономики. Скорее всего они смогут, в какой-то мере, вытеснить традиционные способы производства. Это специальные машины, которые позволяют производить металлические предметы или наносить покрытие на готовые изделия. 3D-принтер по металлу позволяет создавать большой ассортимент изделий.

Рассмотрим несколько технологий 3д печати по металлу.

Струйная трёхмерная печать - позволяет наилучшим способом использовать металлы в качестве расходных материалов, но годится только для создания композитной модели. Изделия, полученные данным видом печати, имеют низкую прочность, поскольку приобретают пористую структуру. Для повышения прочности пропитывают бронзой.

Метод ламинирования - подразумевает нанесение на платформу тонких листов металла, сформированных лазерной или механической резкой, и их склеивание для получения объёмной модели. Этот метод позволяет использовать в качестве расходного материала даже металлическую фольгу. Ламинированные объекты не обладают металлической прочностью, поскольку их целостность основана на склеивании связуемых листов. Преимуществом этой технологии считается относительная дешевизна и возможность создавать разнообразные предметы, идентичные с цельнометаллическими изделиями.

Выборочное лазерное спекание металлов- позволяет работать прочным материалом. Здесь создание трёхмерных объектов происходит с помощью лазерных установок путём спекания металлического порошка. Довольно часто для снижения мощности лазерных излучателей на металлический материал наносят более легкоплавкое покрытие. В таких случаях для повышения прочности готовых изделий требуется дополнительное их спекание и пропитка металлами.

Разновидностью описанного метода является прямое лазерное спекание. Эта технология ориентирована на работу с чистым металлом порошкообразного вида. Для реализации этой цели в 3D-принтере имеются специальные герметичные камеры, наполненные инертным газом. Такая печатная машина применяет подогрев расходного металла до температуры, при которой он плавится, но ещё не кипит. Это позволяет сократить время печати и экономить на мощностях лазерных установок. Печать методом лазерного спекания происходит слоями- на рабочую платформу машина наносит тонкий слой подогретого порошка, частицы которого спекаются между собой и с предыдущим слоем. Лазерный луч постоянно меняет свое направление с помощью системы зеркал, лазерное спекание дает возможность создавать сложные конструкции без дополнительных опор. Таким образом, эта технология используется для создания высоко точных деталей, не требующих последующей механической обработки, а также для производства цельных моделей такого уровня сложности, который невозможно осуществить обычным литьем. Лазерное спекание позволяет работать со сталью, никелевыми сплавами, титаном и драгоценными металлами.

На данный момент если подходить к вопросу выгоды с экономической стороны, то более оптимальным способом является обработка резанием за счёт скорости обработки, точности и дешевизны заготовок (основным расходуемым материалом является режущий инструмент). С другой стороны, 3D печать пусть является более дорогим, от увеличения сложности самой детали, цена на производство одной заготовки остается прежним. Основными недостатками является длительность самого тех процесса, стоимость металлического порошка и высокая шероховатость. Одним из вариантов развития 3D-принтеров является комбинирование 3D печати с металлообработкой (3D-принтер LMD с CNC механической обработкой).

## УДК 621.9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Дмитрий Андреевич Кондратенко, Сергей Сергеевич Ефремов

*Магистры 1 года*

*кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.М. Дмитриев,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки»*

В процессе механической обработки происходит нагрев технологической системы в результате выделения тепла в зоне резания, в местах трения подвижных частей оборудования, работы электро и гидроприводов, а также от теплового влияния внешних источников. В результате нагрева появляются температурные деформации технологической системы.

Существенное влияние на точность обработки температурные деформации оказывают при использовании точных и прецизионных станков на чистовых операциях в технологических процессах.

При работе металлорежущих станков в начальный период их отдельные узлы нагреваются крайне неравномерно. Тепловой режим технологической системы стабилизируется только через 3...5 часов после пуска оборудования. В этот период

разогрева оборудования тепловые деформации наиболее существенно влияют на разброс размеров обрабатываемой партии заготовок. [1]

Одной из целей работы является изучение вышеописанного процесса на практике. Для этого требуется провести ряд экспериментов. С этой целью была разработана принципиальная схема установки для проведения опытов. После проверки правильности разработанной схемы, эксперименты необходимо провести на металлорежущем станке.

Установка выполнена по схеме, изображенной на рис. 1.

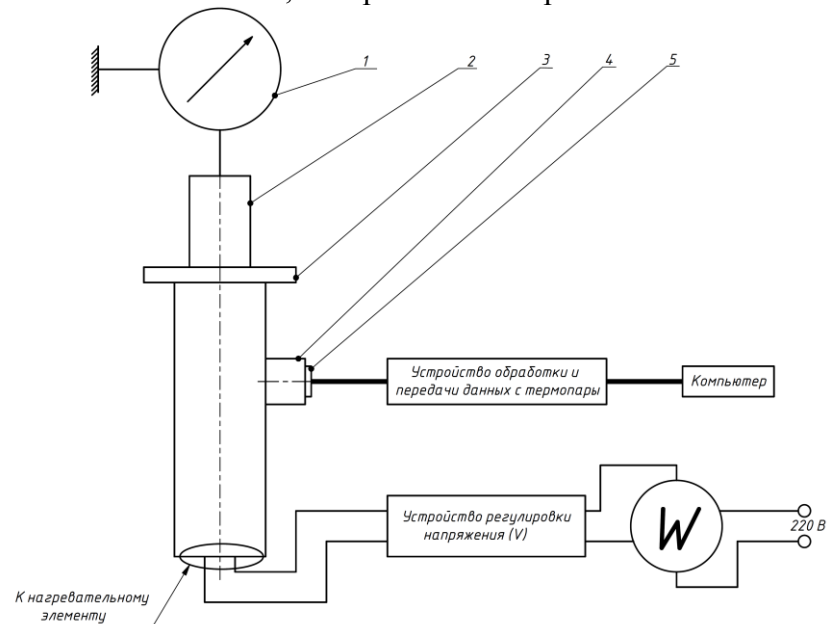


Рис. 1.Схема установки.

1 – индикатор часового типа; 2 – переходник для измерения удлинения; 3 – защитный экран; 4 – переходник термопары; 5 – корпус термопары.

Внутри цилиндрического полого корпуса находится нагревательный элемент. Информация о температуре корпуса передается от термопары на компьютер. Информация об удлинении корпуса измеряется оператором установки посредством считывания информации с индикатора часового типа 1. Информацию о количестве тепла, поданного на корпус можно получить, обработав информацию с ваттметра.

После проведения ряда экспериментов на установке, планируется провести цикл экспериментов на металлорежущем оборудовании.

По завершении обработки и анализа результатов экспериментов необходимо дать рекомендации по тепловому режиму металлорежущих станков. Также необходимо выбрать методы поддержания температуры рабочих органов, а также выяснить, стоит ли поддерживать постоянную температуру или проводить охлаждение рабочих органов в процессе работы. Кроме того, необходимо решить, как окрасочное покрытие несущей системы станка влияет на тепловые процессы в станине.

## Литература

1. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения. – Изд. Томского политехнического университета, 2012. – 352 с.

## **МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ С ЧПУ ДИДАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Даниил Вадимович Кривич, Алена Павловна Недождий

*Магистры 1 года*

*кафедра «Приборные системы и автоматизация технологических процессов»  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»*

*Научный руководитель: А.Г. Карлов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов»*

Основным показателем уровня автоматизации производства на предприятии, является количество и технические характеристики используемых станков с системами числового-программного управления (ЧПУ). Другой тенденцией последнего десятилетия во всех областях промышленного производства является применение оборудования для новых гибких технологий производства. Каждое предприятие в мире стремится развить технологию производства настолько, чтобы быстро перестроить производственный процесс для выпуска совершенно новой продукции. Использование аддитивных технологий — один из примеров того, как новые технологии производства и современное производственное оборудование могут существенно дополнять традиционное, машинное производство.

Однако, как системы с ЧПУ, так и оборудование для аддитивных технологий требуют наличия высококвалифицированных кадров, которые в состоянии обеспечить наладку, ремонт такого оборудования и контроль его бесперебойной работы.

Поэтому, возникла острая потребность в обеспечении учебного процесса дидактическими стендами, которые имели бы возможность продемонстрировать обучающимся основы работы станков с числовым программным управлением, их основные конфигурации и разновидности. Так же помимо станков с числовым программным управлением, необходимо предусмотреть переналадку дидактического стенда для других задач, такие как 3Дпечать.

Конструктивно, будущий дидактический стенд будет представлять собой совокупность линейных актуаторов, соединенных между собой с помощью крепежных элементов. В зависимости от технического задания, выбирается будущая конфигурация дидактического стенда:

- фрезерный станок с линейными приводами с минимальной длиной хода, повышенной жесткостью и высоким передаваемым усилием;
- гравировальный станок либо 3D-принтер с линейными приводами с максимальной длиной хода, высокой скоростью перемещения портала и необходимым и достаточным передаваемым усилием;
- манипулятор консольной конструкции с линейными приводами с максимальной длиной хода и вариативными видами линейных передач в зависимости от нагрузок.
- Дидактический стенд конфигурации №1.



Профильный стол располагается неподвижно на конструкционный профиль. Линейные актуаторы с трапециевидной передачей располагаются параллельно относительно друг друга в одной плоскости с профильным столом, образуя перемещение по оси  $Y$ . На порталы линейных актуаторов оси  $Y$  устанавливаются уголки 100x100мм, на которых закреплены отрезки конструкционного профиля длиной 300мм, образуя две опорных колонны. На опорные колонны с помощью уголков закрепляется линейный актуатор с ременной передачей, образуя ось  $X$ . Ось  $X$  образует с осью  $Y$  угол 90 градусов. На портал оси  $X$  с помощью крепежных пластин закрепляется линейный актуатор с шариковой винтовой передачей, образуя ось  $Z$ , которая образует с основными осями  $X$  и  $Y$  взаимно-располагаемый угол в 90 градусов. На портал оси  $Z$  с помощью кронштейна-хомута закрепляется шпindelь.

- Дидактический стенд конфигурации №2

Линейный актуатор с шариковой винтовой передачей образует ось  $X$  и на портале располагается профильный стол, и перемещения портала передаются и на профильный стол. Через уголки 100x100 к конструкционному профилю, образующих основание стенда, закреплены линейные актуаторы с передачей винт-гайка, образуя ось  $Z$ , которая располагается относительно оси  $Y$  под углом 90 град. Через соединительные пластины к порталам оси  $Z$  закрепляется линейный актуатор с ременной передачей, образуя ось  $X$ , которая взаимно перпендикулярна остальным осям. К portalу оси  $X$  закрепляется шпindelь.

- Дидактический стенд конфигурации №3

На раму, выполненной из конструкционного профиля, располагается профильный стол, а на профилях размером 300мм закреплен линейный актуатор с шариковой винтовой передачей, образующий ось  $X$ . На портал оси  $X$  с помощью крепежных пластин закреплен линейный актуатор с передачей винт-гайка, образующий ось  $Z$ , и располагающийся относительно оси  $X$  угол 90 град. Через уголок 100x100мм, к portalу оси  $Z$  закрепляется линейный актуатор с ременной передачей, образующий ось  $Y$ . На портале оси  $Y$  с помощью кронштейна-хомута закреплен шпindelь.

Каждая конфигурация имеет свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при построении дидактического стенда для выполнения определенных задач. Так же надо учитывать типы передач линейных актуаторов, которые располагаются относительно друг друга: шариковой винтовая передача обеспечит перемещение системы до 3х закрепленных линейных актуатора, в то время как ременная передача обеспечит быстрое перемещение инструмента при небольших нагрузках.

## Литература

1. Кривич Д.В., Карлов А.Г. Мультифункциональный станок с ЧПУ для лабораторного практикума студентов.//актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции, 2015 г. № 7 часть 2 (18-2), DOI МОЛОДЕЖНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ, 9-12 НОЯБРЯ 2015 ГОДА, ВОРОНЕЖ

2. *Кривич Д.В., Карлов А.Г.* Многофункциональный модульный станок с ЧПУ.// Сборник статей (каталог) XI Международного Салона изобретений и новых технологий «Новое время», Севастополь, 1-3 октября 2015 г.
3. *Кривич Д.В., Карлов А.Г.* Критерии выбора комплектующих при создании станков с ЧПУ для аддитивных технологий дидактического назначения// Региональная студенческая научно-техническая конференция «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта»  
г. Севастополь, 22 - 24 мая 2017 года

**УДК 53.084.823**

## **МОДИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ПЯТИКООРДИНАТНОГО СТАНКА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ**

Андрей Дмитриевич Кузнецов

*Магистр 2 года,*

*кафедра: «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. Г. Шишов,*

*Ассистент кафедры «Металлорежущие станки»*

Точность является важнейшей характеристикой любого металлорежущего станка. Существует много способов повышения точности станка. Один из них – оптимизация зоны резания, т.е. комплекс мер, направленных на повышение точности за счёт перераспределения или оптимизации влияния факторов на рабочие узлы станка. В работе рассмотрена оптимизация за счёт выравнивания давления в направляющих суппортов. Также предложена модификация компоновочного решения станка, в котором выравнено давление в направляющих и за счёт этого повышена точность этого станка.

Практически все узлы перемещаются по направляющим. Приложение механической нагрузки к узлам вызывает два типа перемещений: поступательные смещения и перекосы. Наклон узла на малый угол может привести к значительным погрешностям в обработке, поэтому в первую очередь необходимо устранить перекосы.

Перекосы возникают при действии моментов, что приводит к неравномерному распределению давления в направляющих. Чем сильнее неравномерность, тем больше перекося и тем ниже точность. Выровняв давление в направляющих, мы тем самым повысим точность обработки на станке.

Для оценки давления в направляющих использовалась методика, представленная в теории точных станков [1]. В ней принято, что давление распределено по плоскости. Данное допущение делает задачу определения давлений статически определимой.

Меняя точки и направления приложения нагрузок, можно подобрать такие условия нагружения, при которых давления в направляющих распределены максимально равномерно.



В рамках дипломной работы была проведена оптимизация зоны резания для пятикоординатного ювелирного станка с ЧПУ MAX777 [2]. На рис. 1 представлено компоновочное решение этого станка.

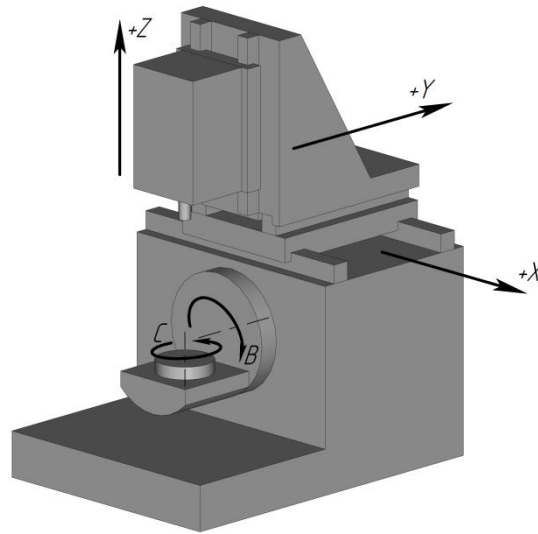


Рис. 1. Компоновочное решение станка MAX777

При анализе компоновочного решения этого станка обращает на себя тот факт, что нагрузка прикладывается сбоку от направляющих, вызывая тем самым неравномерность давлений. Для устранения неравномерности было предложено изменить компоновку, показанная на рис. 2.

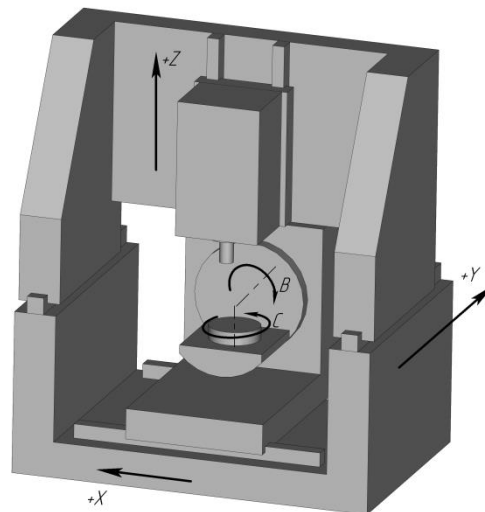


Рис. 2. Новое компоновочное решение станка.

В новой компоновке точка приложения усилий стала находиться между направляющими. Для уменьшения плеч сил, дающих моменты, плоскость направляющих приближена к зоне резания. В дальнейшем планируется численно оценить повышение точности от изменения компоновочного решения станка.

### **Литература:**

1. Основы проектирования точных станков. Теория и расчёт : учебное пособие / П.М. Чернянский. – М. КНОРУС, 2010. – 240 с.
2. Ювелирный 5D станок MAX777. Технические характеристики. [Электронный ресурс]. URL: <https://777russia.ru/cnc-stanok/max777-yuvelirnyj/> (дата обращения 14.03.2018).

**УДК 621.09**

### **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Лукашин Игорь Николаевич<sup>(1)</sup>, Цораев Давил Темболатович<sup>(2)</sup>

*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 3 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки»*

Металлорежущее оборудование должно отвечать постоянно возрастающим к технологическому оборудованию: обрабатывать новые материалы, новые виды заготовок и деталей; обеспечивать высокие технические требования и экологическую безопасность персонала и т.д. Всем этим требованиям должны удовлетворять станки для изготовления конкурентоспособной продукции в условиях современного рынка. Станочное оборудование из-за его высокой стоимости должно эффективно использоваться конкретным потребителем, что возможно только при условии его интенсивной эксплуатации с максимальным использованием фонда рабочего времени.

Основные тенденции развития металлорежущих станков с ЧПУ условно можно разделить на два вида: технологические и конструктивные.

Технологические тенденции:

- повышение производительности и точности обработки;
- комплексная обработка на одном станке;
- высокоскоростное фрезерование, точение, шлифование;
- возможность черновой и чистовой обработки на одном станке;
- твердое точение;
- измерение деталей непосредственно на оборудовании;
- интеграция производственных технологий с информационными;

Конструктивные тенденции:

- станки со встроенными измерительными системами на основе оптических технологий;
- выпуск станков с контролем вибраций на шпинделе;
- высокомоментные, прямые приводы, линейные двигатели, станины из минерального литья, гидростатические направляющие и опоры из керамики и т.д.;
- наращивание быстродействия процессоров систем управления станков с ЧПУ;
- встроенная система диагностирования технического состояния инструмента и станка.

Дальнейшие пути развития станочного парка должны быть направлены на:

- определение мировых тенденций развития всего парка технологического оборудования;

-установление новых видов технологического оснащения, инструмента и оборудования.

### **Литература**

1. *Вереина Л.И.* Металлообрабатывающие станки: учебник. – М. : ИНФРА-М, 2016.- 440с.
3. *Ягопольский А.Г., Николаева Н.С., Плетнев В.А.* Особенности проектирования металлорежущего оборудования для повышения его конкурентоспособности. Инновации и инвестиции. 2017. № 3. С. 126-130.
3. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. В 2 т. /под ред. П.М. Чернянского – 2-е изд., испр. - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. Т.1.– 331 с. Т.2. – 303 с.

**УДК 602.17**

## **ПРОЕКТ ЦЕХА С ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПО ВЫПУСКУ ПЛОСКОГО ПРОКАТА**

Станислав Олегович Мартынов

*Магистр 2 года*

*кафедра «Металлургия»*

*Московский Политехнический университет*

*Научный руководитель: А.В. Шульгин,*

*Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия»*

**Аннотация.** Процесс проведения анализа одной из схем расположения оборудования литейно-прокатного модуля с использованием промежуточных перемоточных устройств (ППУ) разработка проекта цеха по производству мелкосортного проката. Рассматривается сравнительная характеристика с уже имеющимися схемами расположений оборудования

В проекте предложены технические решения по прокатке на базе литейно-прокатного комплекса (ЛПК). В частности, предложен вариант конструкции станины рабочей клетки. Проведен выбор рациональной схемы литейно-прокатного комплекса, описание технологического процесса. Исследование температурно-скоростных процессов с целью оптимизации энергозатрат в потоке литейно-прокатного модуля с разработкой наиболее экономичной технологией производства заданного сортамента полос.

**Ключевые слова:** Литейно-прокатный модуль, станина, клеть, прокат.

На рис. 1 показаны две реализованные в настоящее время схемы ЛПК на годовое производство примерно 1,5 млн. т в год.

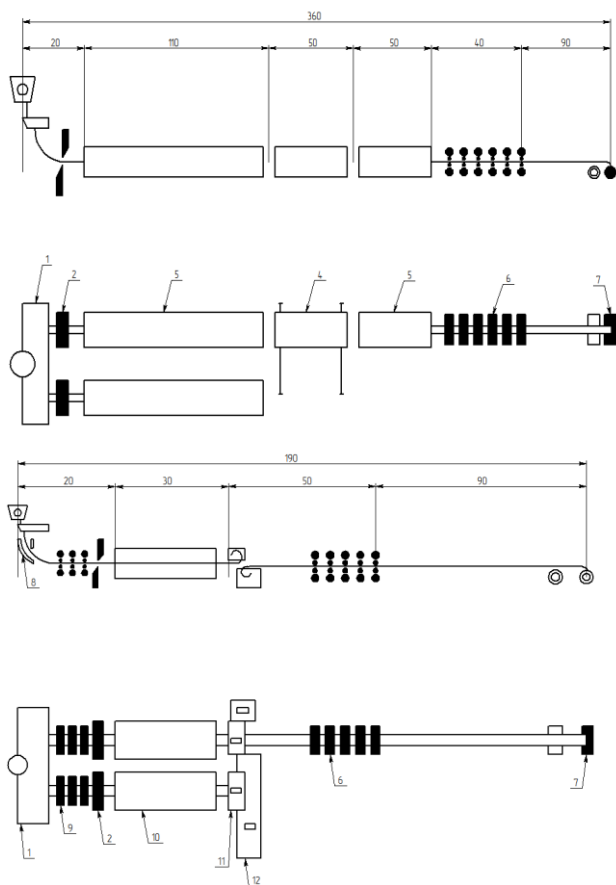


Рис. 1(А)

Рис. 1(Б)

1 – МНЛЗ обжатия сляба по толщине; 2 – механические летучие ножницы; 3 – проходная роликовая газовая печь; 4 – передаточное устройство; 5 – буфер для горячих слябов; 6 – чистовая прокатная клеть; 7 – конечная моталка; 8 - индукционный подогреватель боковых кромок; 9 – черновая прокатная клеть; 10 – индукционная проходная клеть; 11 – моталка в камерной печи; 12 – буфер для выдержки горячих рулонов.

Рис. 1(А) Литейно-прокатный комплекс фирмы SMS с двухручьевой УНРС

1 – МНЛЗ обжатия сляба по толщине; 2 – механические летучие ножницы; 3 – проходная роликовая газовая печь; 4 – передаточное устройство; 5 – буфер для горячих слябов; 6 – чистовая прокатная клеть; 7 – конечная моталка; 8 - индукционный подогреватель боковых кромок; 9 – черновая прокатная клеть; 10 – индукционная проходная клеть; 11 – моталка в камерной печи; 12 – буфер для выдержки горячих рулонов.

Рис. 1 (Б) Литейно-прокатный комплекс фирмы МДХ с двухручьевой УНРС

Итак, несмотря на использование в этой схеме ППУ для смотки рулонов и использованием буфера для выдержки горячих рулонов, что уменьшает длину комплекса, эта схема выглядит достаточно капиталоемкой, и к тому же имеет ряд технологических недостатков. К тому же у этих 2-х схем есть два общих, очень важных недостатка: при изменении ширины полосы необходимо менять кристаллизатор, т.е. невозможно управлять шириной; в случае получения брака в МНЛЗ – в схеме SMS и в МНЛЗ и непрерывной группе высокого обжатия – в схеме МДХ нет места для извлечения бракованной полосы из потока ЛПК.

**Исходные данные:**

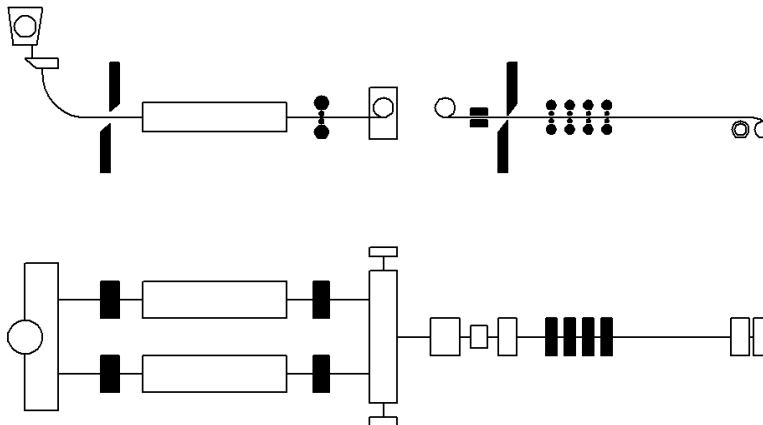
В процессе были взяты следующие профили:

4 × 1350 сталь 30ХГСА

2 × 1250 сталь СтЗСП

Температура входа в роликую проходную печь составляет 850 С° и 1100 С° на выходе. Исходными конечными скоростями для исследования температурного процесса в чистой группе являются: 5, 6, 7, 8, 9 м/с для профиля 4 × 1350 сталь 30ХГСА и 5, 6, 7, 8, 9, 10 м/с для профиля 2 × 1250 сталь СтЗСП.

**Рассмотрим предложенную схему ЛПМ:**



Данная схема позволяет полностью или частично исключить недостатки схем «Шлёман-Зимаг» SMS и «Маннесман-Демаг» МДХ.

### Методики исследования

**Расчет потери тепла рулоном при размотке и транспортировке полосы от разматывателя до первой клетки чистой группы определяем по формуле:**

$$\alpha_{изл} = \frac{4,5 \left( \frac{T_{нов.мс}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{возд.}}{100} \right)^4}{T_{нов.мс} - T_{возд.}};$$

**Расчет параметров прокатки в потоке чистой группы:**

Расчет включает в себя следующие методики расчетов:

1. Методика М.Я. Бровмана

Блок-схема алгоритма расчета усилия при горячей прокатке полосы представлена на рис. 2.

2. Методика Л.В. Андреюка

Для определения истинного сопротивления деформации предложена зависимость:

$$C_{и} = S \cdot C_{o.d.} \cdot U^a \cdot (10 \cdot E)^b + (t / 1000)^c,$$

где S, a, b, c – постоянные числа, определенные на пластометре для каждой марки стали.

$C_{o.d.}$  - сопротивление деформации при U=1, c, E=0,10, t=1000 с.

3. Методика Б.П. Бахтинова

Для определения коэффициента трения при прокатке на гладких валках предложена зависимость:

$$m = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t),$$

где  $K_1$  - Эжелунда, учитывающий состояние поверхности и материал валков,

$K_2$  - коэффициент учитывающий влияние скорости прокатки, определяется

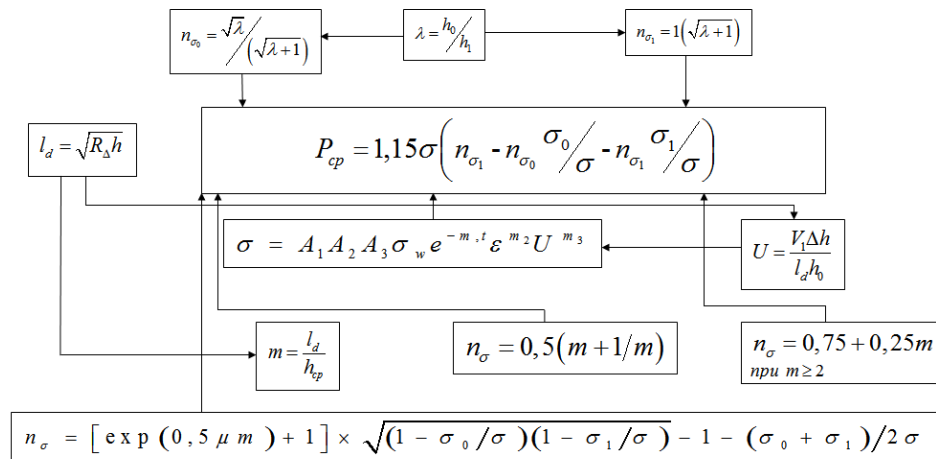


Рисунок 2 Блок-схема расчета усилия прокатки по методике М.Я. Бровмана  
**Выбор и расчет параметров оптимальной скорости прокатки в клети предварительного обжатия:**

Выбор оптимальной скорости прокатки в клети предварительного обжатия осуществляется на основании анализа энергозатрат с учетом:

- потерь тепла на участке роликоточная прокатная печь – печь термостат;
- энергозатрат на прокатку в самой клети предварительного обжатия;
- энергозатрат на нагрев или выдержку в печи термостате.

При установлении минимальной скорости прокатки задавались минимальной паузой для передачи смотанного рулона дальше в печь и подготовке моталки к смотке следующего раската. Исходя из этого минимальная скорость прокатки в клети предварительного обжатия принималась 0,09 м/с.

**Расчет тепловой мощности печи и определение расхода топлива:**

Тепловая мощность

$$M_{общ.} = M_{пол.} + M_{ху};$$

где  $M_{пол.}$  - мощность, полезная и тепловая (мВт),

$M_{ху}$  - мощность холостого хода:

$$M_{пол.} = Q_{усв.} / \eta_{мет.}; M_{ху} = \frac{Q_{усв.}}{\eta_{мет.}};$$

где  $Q_{усв.}$  - тепло, которое идет на нагрев металла (мВт)

$Q_{пот.}$  - тепло необходимое на покрытие тепловых потерь в печи (мВт)

$\eta$  - коэффициент использования тепла.

Тепло, идущее на нагрев  $Me$ , определяется по следующей зависимости

$$Q_{усв.} = P_i - (i_k - i_n)P \cdot 10^{-3};$$

где  $P$  - производительность речи (кг/с)

$i$  - приращение теплосодержания металла (мДж/кг)

Тепловые потери в рабочем пространстве определяются по формуле

$$Q_{пот.} = Q_{т.кл.} + Q_{т.к.з.} + Q_{изл.окна};$$

**Вывод**

В результате существующей работы был сделан анализ существующих схем литейно-прокатных модулей, описаны технологии, преимущество и недостатки, была проведена сравнительная характеристика с традиционными станами горячей прокатки. В результате чего, для выполнения данной работы была выбрана схема с использованием ППУ. Применение промежуточных устройств дало целый ряд преимуществ.

После чего был выполнен анализ температурно-скоростных режимов прокатки в чистой группе, в следствии чего были выбраны оптимальные скоростные режимы для каждого профиля в потоке чистой группы и клетки предварительного обжатия с целью оптимизации энергозатрат. В результате чего была разработана технология для производства 4 x 1350 мм из стали СтЗСП, обеспечивающие минимальные затраты энергии на уровне 107,3 мДж/т, для профиля 4 x 1350 мм сталь 30ХГСА и 179.5 мДж/т для профиля 2 x 1250 мм сталь СтЗСП.

### **Литература**

1. *Сивак Б.А., Протасов А.В.* Технологические основы проектирования прокатных комплексов: сортовые и полосовые литейно-прокатные агрегаты для металлургических мини-заводов. – М.:МИСИС 2010, - 77 с.
2. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос. / В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев и др. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003-507 с.
3. *Салганик В.М., Гун И.Г.* Развитие широкополосных станов горячей прокатки – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. 2014 - 241 с.
4. *Целиков А.И., Томленов А.Д.* Теория прокатки – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

### **УДК 621.9.1**

## **АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТОКАРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ**

Александр Вадимович Михрютин

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Мехатронные системы и процессы формообразования»*

*Рыбинский Государственный Авиационный Технологический Университет*

*Научный руководитель: В.В. Михрютин,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатронные системы и процессы формообразования»*

## **АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТОКАРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ**

Одним из направлений развития современного машиностроения является широкое внедрение в производство станков-обрабатывающих центров.

Использование станков-обрабатывающих центров позволяет концентрировать технологические операции на одном или ограниченном числе станков, что позволяет с одной стороны повысить точность изготовления деталей за счет обеспечения постоянства базирования, а с другой минимизировать затраты времени на транспортировку деталей между станками и их установку в зажимные приспособления.

Конструкции станков-обрабатывающих центров основаны на двух основных типах станков: фрезерные обрабатывающие центры и токарные обрабатывающие центры. При этом фрезерные обрабатывающие центры в ряде случаев позволяют на

одном станке кроме традиционных операций, присущих фрезерным станкам, реализовать и токарную обработку. Токарные обрабатывающие центры оснащаются дополнительными рабочими органами, что позволяет совместить токарную и фрезерную обработку на одном станке.

Большинство конструкций современных токарных обрабатывающих центров основано на известных компоновках токарных станков. При этом в конструкцию токарного станка должны быть внесены следующие изменения:

- Привод вращения шпинделя должен позволять работу в широком диапазоне частот вращения, при этом привод должен быть способен обрабатывать требуемый поворот и удержание шпинделя в заданном положении в соответствии с заданной программой обработки.

-Револьверная инструментальная головка должна быть оснащена специальными инструментальными блоками с вращающимся инструментом и приводом его вращения. При этом в ряде конструкций токарных обрабатывающих центров может использоваться дополнительная фрезерная головка. Шпиндель такой головки оснащается системой фиксации, что позволяет устанавливать в него токарный инструмент для осуществления операций точения.

Одной из наиболее перспективных конструкций токарных обрабатывающих центров являются обрабатывающие центры DMG-MoriSeiki серии NT [1]. Станок, управляемый ЧПУ, может обладать одной или несколькими револьверными головками, инструментальным шпинделем, двумя патронами. Шпиндель установлен на узел салазок, который позволяет перемещать его вдоль осей X и Z. При помощи ползуна возможно перемещение вдоль оси Y. В ползуне установлен мотор, позволяющий поворачивать шпиндельную головку по круговой оси B.

Шпиндельные приводы патронов могут быть идентичны по своим характеристикам. Первый патрон неподвижен относительно станины, второй патрон способен двигаться по направляющим вдоль оси Z.

Револьверная головка установлена в корпус, способный перемещаться по направляющим вдоль оси Z.

Такая конструкция позволяет выполнять широкий набор операций, в том числе комплексные, получаемые одновременным вращением инструмента и заготовки [2].

Известна конструкция салазок[3], в которой устройство крепления инструмента установлено на суппорте, обладающем поперечными и продольными направляющими. Особенность данной конструкции состоит в том, что поперечные направляющие установлены на поворотной платформе и имеют возможность поворачиваться вокруг оси, параллельной оси станка.

Известна конструкция [4], имеющая отдельные токарную и фрезерную части. При выполнении токарных операций на таком станке деталь закрепляется в токарный патрон, а инструмент устанавливается в столе с T-образными пазами. При выполнении фрезерных операций инструмент устанавливается в устройство крепления инструмента, расположенное на суппорте. Суппорт может перемещаться по двум осям. Стол может перемещаться по двум линейным осям.

Проведенный анализ показал, что существует тенденция к увеличению скорости резания, концентрации операций на одном станке, повышению быстродействия приводов.

Предложена собственная конструкция и разработан макет.

## Литература



1. *G. Hyatt, A. Sahasrabudhe.* CNC MACHINES, ADJUSTABLE TOOLS FOR CNC MACHINES, AND METHODS OPERATING AN ADJUSTABLE TOOL ON A CNC MACHINE. Патент US 20120152069 A1. Заявл. 14.12.2011. Оpubл. 21.06.2012. МПК В23В 1/00.
2. *G. Hyatt, N. Chaphalkar.* COMPOUND MACHINING METHOD AND APPARATUS. Патент US20170123408. Заявл. 11.01.2017. Оpubл. 04.05.2017. G05B 19/4093
3. *Акмаев О. К. Еникеев Б. А.* Суппорт многоцелевого станка токарной группы. Патент RU2452594. Заявл. 22.04.2011. Оpubл. 10.06.2012. МПК В23В.
4. *Максименко А. А. и др.* ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫЙ ЦЕНТР ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ. Патент RU2532623. Заявл. 12.03.2013. Оpubл. 10.11.2014. МПК В23Р.

### УДК 621.763

## РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Иван Максимович Савенков, Дмитрий Алексеевич Молошкин

*Студенты 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Металлорежущие станки и оборудование»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.А. Иванов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры "Металлорежущие станки и  
оборудование"*

Проблема долговечности металлорежущих станков весьма актуальна в настоящее время. По исследованиям ЭНИМС, уровень удельной длительности восстановления для станков с ЧПУ составляет 5 – 10%, т. е. 5 - 10 ч простоя станка в неплановом ремонте на 100 ч работы. В связи с этим, необходимо найти такую технологию ремонта деталей и узлов станков, которая позволит в кратчайшие сроки должным образом восстановить изношенное оборудование, при этом снизить себестоимость ремонта.

Как показывает отечественная и зарубежная практика, устранение примерно 10-15% дефектов металлорежущего оборудования может быть осуществлено за счет технологии применения ремонтных композиционных материалов. Использование композиционных материалов позволяет заменить традиционные методы получения неразъемных соединений (сварку, пайку, клепку и т.д.) новым технологическим процессом «холодная сварка», который имеет огромное количество достоинств.

Срок службы металлорежущих станков в основном определяется износом наиболее ответственных деталей, при этом происходит утрата механизмом первоначальных эксплуатационных качеств.

С момента начала эксплуатации станки и любое другое оборудование подвергаются различного рода дефектам, которые нарастают с увеличением срока эксплуатации объектов и приводят к потере ими части своей полезности и, как следствие, определенной части стоимости.

Направляющие скольжения - один из самых изнашиваемых узлов в станке. Они имеют высокий коэффициент трения, особенно на малых скоростях. В результате в

направляющих всегда присутствует повышенный износ. Также может появиться один из самых распространенных дефектов направляющих - задиры (повреждения трущихся поверхностей направляющих в виде местного срыва материала этих поверхностей). Износ и задиры направляющих скользящие в станках приводят к потере точности станков, аварийному выходу их из строя и могут быть устранены только при ремонте, связанном с большими затратами труда и простоями оборудования.

Шпиндельный узел (ШУ) – еще один из основных узлов станка, который также подвержен сильному износу. Недостаток смазки подшипников, работа при повышенных нагрузках и скоростях (предельные режимы), изменение преднатяга подшипников, нагрев - основные причины выхода из строя ШУ. Последствия могут быть в виде повреждения и износа подшипников, износ и фреттинг-коррозия посадочных мест вала, а так же износ инструментального конуса или места закрепления патрона.

В докладе рассмотрены традиционные способы восстановления изношенных узлов и даны предложения по использованию ремонтных композиционных материалов в качестве их замены, а также отображены преимущества данной технологии.

Ремонт с помощью композитов включает в себя следующие операции:

- Определение величины износа;
- Подготовку поверхности перед ремонтом (механическая обработка);
- Обезжиривание;
- Подготовка компаунда;
- Нанесение слоя металлополимера и его полимеризация;
- Финишная обработка восстановленной поверхности.

За рубежом промышленный выпуск специальных ремонтных полимерных материалов освоен примерно 30-35 лет назад. К наиболее известным фирмам можно отнести: «MultiMetall», «Diamant» (Германия), «Belzona» (США), «Chester Molecular» (Польша) и ряд других фирм.

Рациональное использование композитных материалов позволяет снизить трудоемкость ремонта на 20%, себестоимость работ на 15-20%, сократить расход металлов на 40-50%. Это обусловлено тем, что применение данной технологии не требует сложного оборудования и высокой квалификации рабочих, появляется возможность производить ремонт без разборки узлов, агрегатов и соединений, которые трудно и опасно ремонтировать известными способами.

Использование ремонтных композиционных материалов открывает новые возможности в технологии ремонта. Ремонт композитами позволяет снизить финансовые и временные затраты, продлить срок службы всего оборудования. Ремонтные компаунды позволяют формировать коррозионностойкие и износостойкие покрытия, что дает возможность эффективно бороться с различными видами износа.

## Литература

1. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Восстановление направляющих скользящих технологического оборудования композиционными материалами // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». – М.: МГГУ-2014. – 518 с.
2. Тулинов А.Б., Иванов В.А., Островский М.С. Применение металлополимерных композитов для устранения дефектов горного оборудования // Горное оборудование и электромеханика. 2013. №3.
3. Рябов С.А. Разработка технологии ремонта направляющих станин металлорежущих станков // Издательство КузГТУ, 2012. – 20 с.

УДК 621.9

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТОЯНСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА**

Денис Олегович Савватеев<sup>(1)</sup>, Мария Геннадьевна Серова<sup>(2)</sup>

*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, студент 3 курса, бакалавриат<sup>(2)</sup>  
кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Б.М. Дмитриев*

*Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Металлорежущие станки»*

Цель: разработать конструкцию передней опоры шпинделя, обеспечивающую стабильную жесткость при действии термических возмущений.

На сегодняшний день, в отечественном станкостроении уделяется недостаточно внимания термическим процессам, протекающим в конструкциях. Основанием для данного исследования послужило ужесточение требований по производству деталей на прецизионном металлорежущем оборудовании, с которыми имеющиеся станки перестали справляться. Потребовалось исследовать процессы, протекающие во время работы станка, которые оказывают влияние на точность. Одним из таких процессов оказалось изменение геометрической точности и жесткости шпиндельного узла под действием тепла.

Для подтверждения данного явления был проведен эксперимент, показывающий воздействие тепла на жесткость шпинделя.

На рисунке 1 представлена общая схема экспериментальной установки. Данная установка имеет точную оправку (1), имитирующую ось шпинделя, датчик, жестко установленный на станине, измеряющий осевое перемещение (2) и четыре датчика, измеряющие радиальное перемещение (3) оправки (1). Измерения проводились после нагружения шпинделя радиальной силой  $F$ , вначале на «холодном» станке и далее через определенные временные интервалы работы. По полученным данным был построен график 1.

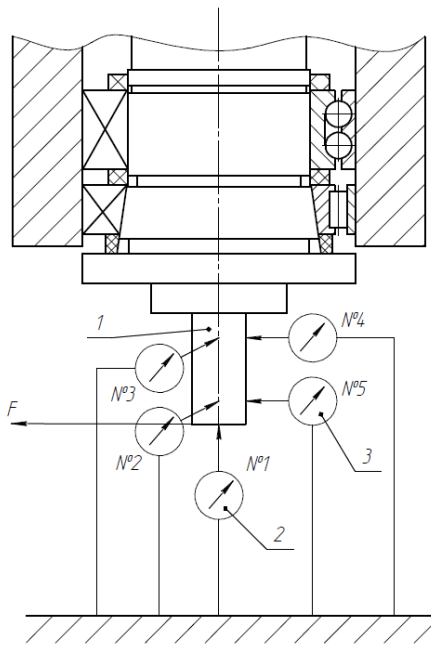


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

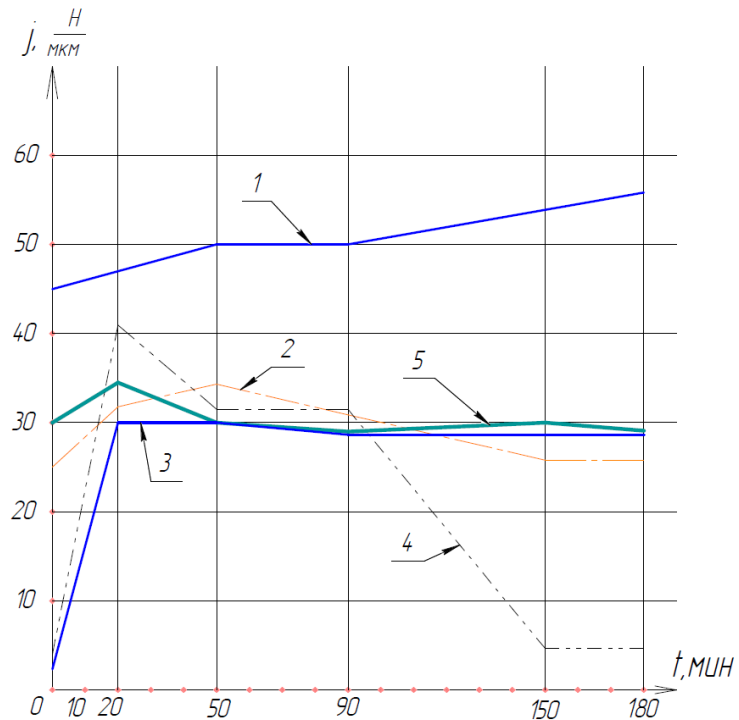


График 1. Изменение жесткости шпинделя во время работы. Частота вращения шпинделя 2040 об/мин.

На графике 1 видно, что с течением времени жесткость станка постепенно изменяется. Это происходит из-за образования тепла в зоне резания, а так же из-за трения деталей, которое соответственно нагревает части шпинделя. Быстрее всего нагревается шпиндельный вал, а также внутреннее кольцо подшипника в силу своих небольших габаритных размеров, по сравнению с корпусом шпинделя. В результате этого нагрева внутреннее кольцо начинает деформировать тела качения, и зазор в передней опоре радиального подшипника уменьшается. Из-за данного явления происходит изменения жесткости конструкции станка под действием температуры. Изменение жесткости шпинделя в процессе обработки приводит к изменению точности оборудования, следовательно, приходится уменьшать режимы резания, а из-за этого падает производительность. Поэтому стоит задача добиться постоянства жесткости шпиндельного узла.

Чтобы решить данную задачу рассмотрим один из возможных вариантов. В передней опоре шпинделя установим подшипник с конической поверхностью внутреннего кольца (4). Это делается для того, чтобы можно было регулировать натяг, и тем самым контролировать жесткость опоры. Регулировку можно осуществить с помощью втулок (6) и (7) (рисунок 2), для этого необходимо изменять их линейные размеры. Осуществить это возможно за счет физических свойств растяжения и сжатия материала при изменении температуры. Для этого необходим специальный материал, способный при быстром нагреве внутреннего кольца расширять втулку (6) и соответственно сужать втулку (7), тогда подшипник сместится по конусной поверхности, натяг уменьшится, а жесткость будет стабилизироваться. С течением времени, когда конструкция начинает охлаждаться, возникает необходимость сместить подшипник в обратную сторону.

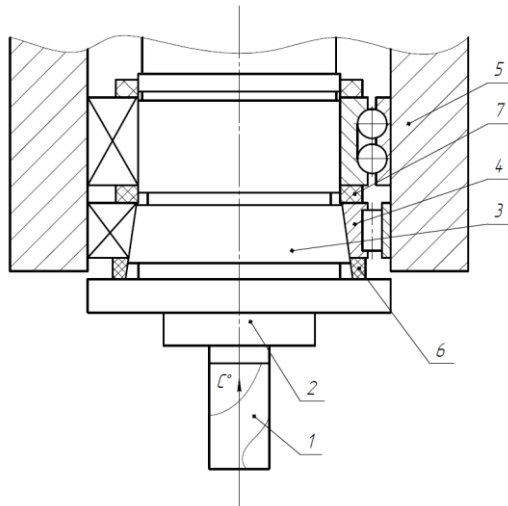


Рисунок 2. Схема передней опоры  
шпиндельного узла.

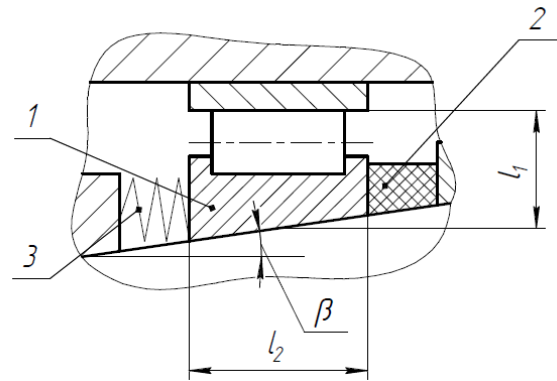


Рисунок 3. Схема механизма осуществления  
автоматической регулировки натяга.

Втулку (2) на рисунке 3 требуется изготовить из материала, который будет изменять свои линейные размеры по необходимому закону, а вместо второй втулки будем использовать пружину (3), которая будет компенсировать смещение втулки (2).

Необходимо разобраться в каких пределах происходит изменение температуры частей шпиндельного узла. Допустим, что температура в цеху не может опускаться ниже  $+20^{\circ}\text{C}$  в течение всего года, а температуры вспышки масла, которое используется в шпиндельном узле,  $+95^{\circ}\text{C}$ .

Исходные данные:

Материал подшипника ШХ15

$$\alpha_1 = 11,9 \times 10^{-6} \left( \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right);$$

$$\Delta T = 75(^{\circ}\text{C});$$

Для решения данной задачи воспользуемся законом линейного расширения материала при нагреве.

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta T;$$

Определим изменение расстояние  $\Delta l_1$  при нагреве элементов системы на  $75^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta l_1 = \alpha_1 \times l_1 \times \Delta T;$$

Затем, чтобы компенсировать радиальное перемещение системы необходимо сдвинуть ее в осевом направлении по конусной поверхности с углом наклона  $\beta$  на расстояние  $\Delta l_2$ (рисунок 4). Зависимость  $\Delta l_2$  от  $\beta$  показана на графике 2.

$$\Delta l_2(\beta) = \frac{\Delta l_1}{\text{tg}\beta}$$

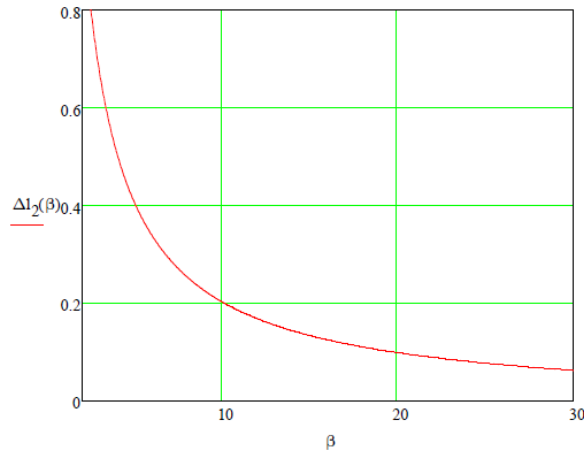


График 2.

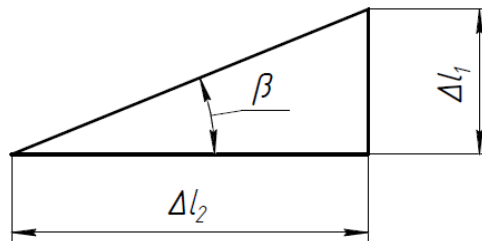


Рисунок 4.

Теперь необходимо решить обратную задачу закона линейного расширения, мы знаем перемещение, требуется найти коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha_2$  (данная зависимость показана на графике 3).

$$\alpha_2(\beta) = \frac{\Delta l_2(\beta)}{l_2 \times \Delta T};$$

Изменяя угол наклона конусной поверхности, можем подобрать такое  $\Delta l_2$ , а следовательно и коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha_2$ , который бы соответствовал свойствам известных материалов.

После того, как будет подобран материал втулки, компенсирующей натяг в подшипнике, необходимо подобрать пружину, поджимающую всю систему с левой стороны. Данный метод позволяет поддерживать натяг в передней опоре шпинделя на постоянном уровне и увеличивает точность металлорежущего оборудования.

Выводы:

В данной статье был предложен метод по автоматической стабилизации натяга в передней опоре подшипникового узла. Был проведен расчет, подтверждающий жизнеспособность выбранного метода.

Но данный метод содержит существенный недостаток, поскольку внутреннее кольцо подшипника будет тереться о конусную поверхность шпиндельного вала, между этими поверхностями возникнет такой эффект, как фреттинг-коррозия.

### Литература

1. *Йоханнес Хеддерих*. Термическая стабильность в станках // Магистерская диссертация. – Швеция, 2015. 13 с.
2. *Левина З.М., Решетов Д.Н.* Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 214 с.

УДК 621.01

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНКА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Серова Мария Геннадьевна

*Студентка 3 курса*

*кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г.Ягопольский,*

*старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки»*

Вибрации являются сложнейшей проблемой для металлорежущего оборудования при высокоточной и высокоскоростной обработке. По сути, производительность и точность определяются динамической характеристикой компоновки станка и динамикой процесса резания, которая также может определяться диаграммой устойчивости. Чтобы оценить динамические характеристики и стабильность обработки вертикально-фрезерного станка с линейными направляющими, разработана конечно-элементная модель, объединяющая моделирование линейных компонентов с реализацией исследования контактной жесткости. Проведенные конечно-элементный анализ и экспериментальные измерения динамической устойчивости показывают влияние привода подач с различным преднатягом кареток линейных направляющих на режим вибраций и стабильность процесса фрезерования. Эксперимент указывает на то, что прогнозирование устойчивости динамической системы станка достаточно точно согласуется с реальной механической обработкой тест-детали.

Таким образом, в связи с необходимостью внедрения в современные производственные процессы высокоскоростной и высокоточной обработки, металлорежущее оборудование проектируется с динамическим улучшением точности позиционирования рабочих органов и устойчивости процесса резания. Однако, вибрации являются огромной проблемой прецизионных станков. Так как динамическая характеристика играет важную роль при обработке резанием, важно представлять ее структуру еще на стадии проектирования. Но с другой стороны, конструкции станков как правило разрабатываются с применением модульного принципа проектирования для обеспечения гибкости, позволяющих производить гибкий переход с изготовления одних деталей на изготовление других, часто и в широком диапазоне их разновидностей.

### **Литература**

1. *Кудинов В. А.* Динамика станков. - М. : Машиностроение, 1967. - 358 с.
2. *Михайлов О. П.* Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. - М. : Машиностроение, 1989. - 223 с.
3. *Ефремов В. Д., Горохов В. А., Схиртладзе А. Г.* Металлорежущие станки : учебник для вузов. - Старый Оскол : ТНТ, 2015. - 695 с. :
4. *Санкин Ю.Н.* Динамика несущих систем металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986. - 96 с.
5. *Орликов М.Л.* Динамика станков. –Киев: Выща шк.,1989. -272 с.



## Секция II

### Инструментальная техника и технологии

Председатель: **Древаль Алексей Евгеньевич**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-2

Ученый секретарь: **Мальков Олег Вячеславович**  
кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-2

**УДК 621.9.04****ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛОСКОГО ОТРАЖАТЕЛЯ**

Евгений Николаевич Астахов

*Студент 5 курса, специалитет,*

*Кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.В. Грубый,*

*доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Сверхточную лезвийную обработку применяют при изготовлении оптических элементов и прецизионных деталей машин и приборов. К сверхточной обработке можно отнести обработку поверхностей, у которых отклонение от плоскостности составляет менее, чем по 1 степени точности (ГОСТ 24643). Например, для интервала размеров 100 – 160 мм отклонение от плоскостности должно составлять менее 1 мкм. Для получения обработанной поверхности с параметром шероховатости  $Ra < 0,01$  мкм и погрешностью формы менее 1 мкм используют сверхточное оборудование высокой жесткости и алмазный монокристаллический инструмент с радиусом округления режущей кромки менее 50 нм.

Разработана технологии обработки плоского отражателя из алюминиевого сплава марки АМг6. Учтены конструктивные особенности отражателя и требования по качеству и точности, предъявляемые к рабочей поверхности, габаритные размеры которой составляют 17,3x32,6мм: шероховатость  $Ra$  0,01 мкм,  $Rz$  0,05 мкм; погрешность формы - 1 мкм.

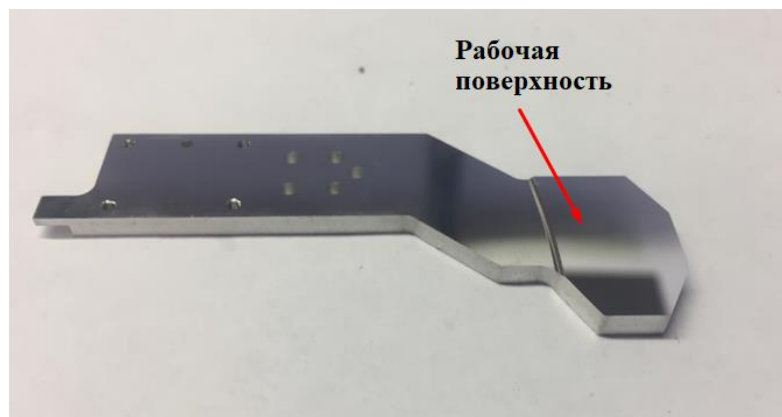


Рис. 1 Внешний вид отражателя

Обработка проводилась на экспериментальном сверхточном стенде по схеме фрезерования однорезцовой фрезерной головкой, оснащенной резцом со вставкой из природного монокристаллического алмаза [1, 2]. Основными особенностями стенда являются: использование аэростатического шпинделя со сферическими опорами; аэростатические опоры кареток по продольным осям; пневматический привод кареток; дискретность перемещения кареток по продольным осям составляет 0,1 мкм.

Проведен контроль фактических геометрических параметров используемого алмазного резца. Результаты измерения следующие: радиус резца при вершине  $R=3,86$  мм, задний угол  $\alpha=8^{\circ}30'$ , передний угол  $\gamma=0^{\circ}$ .



Рис. 2 Внешний вид алмазного резца

Резец устанавливался в однорезцовую фрезерную головку на шпинделе станка и совершал вращение по радиусу  $R_{фр}=105\text{мм}$  с частотой  $n=500$  об/мин. Заготовка устанавливалась на вакуумной планшайбе. В процессе обработки заготовка выполняла движение подачи со скоростью  $S=5$  мм/мин, глубина резания составила  $t=5$  мкм.

После обработки двух деталей был проведен метрологический контроль обработанных поверхностей, в результате которого установлено, что отклонение формы находится в допуске и составляет 0,32 и 0,2 мкм на двух деталях, соответственно, а шероховатость поверхности на обеих деталях составила менее  $Ra\ 0,01$  мкм.

Разработанная технология алмазного фрезерования однорезцовой головкой на сверхточном станде будет использована для обработки ряда оптических и прецизионных поверхностей.

### Литература

1. С.В. Грубый, В.В. Лапшин. Моделирование процесса и разработка технологии сверхточной обработки плоских отражателей однорезцовой алмазной фрезерной головкой. Наука и Образование: Научное издание. 2014;(2):49-74.
2. В.В. Лапшин, С.В. Грубый. Повышение точности и качества алмазной лезвийной обработки плоских поверхностей. – Вестник машиностроения, 2015, №5, с. 57-62.

### УДК 621.9

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ РЕЗЬБОВОЙ ФРЕЗЫ

Руслан Сехрабович Ахмедов

*Студент 6 курса,*

*Кафедра «Инструментальная техника и технологии»,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В.Мальков, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии».*

В настоящее время резьбофрезерование является одним из прогрессивных методов получения резьбы. Обратная задача профилирования состоит в замене криволинейных образующих, полученных на профиле резьбы, прямолинейными. Такая замена обосновывается сложностью изготовления круга сложной формы. Задача состоит из 2 этапов: решение прямой задачи для установления величины прогиба  $\Delta$  (рисунок 1а) и решение обратной задачи, позволяющее выявить погрешность формирования резьбовых

профилей на зубьях фрезы профилированным диском с учетом переднего угла  $\gamma$ , заднего угла  $\alpha$ , угла наклона стружечной канавки  $\omega$ , диаметра  $d$  и шага  $P$  инструмента.

В работе представлена схема определения погрешности профиля резьбы (рисунок 1б) при скорректированном резьбовом профиле зубьев резьбовой фрезы со следующими параметрами:  $d = 6 \text{ мм}$ ,  $P = z = 1,25 \text{ мм}$ ,  $\omega = 27^\circ$ ,  $\alpha = 8,5^\circ$ ,  $\gamma = 7^\circ$ .

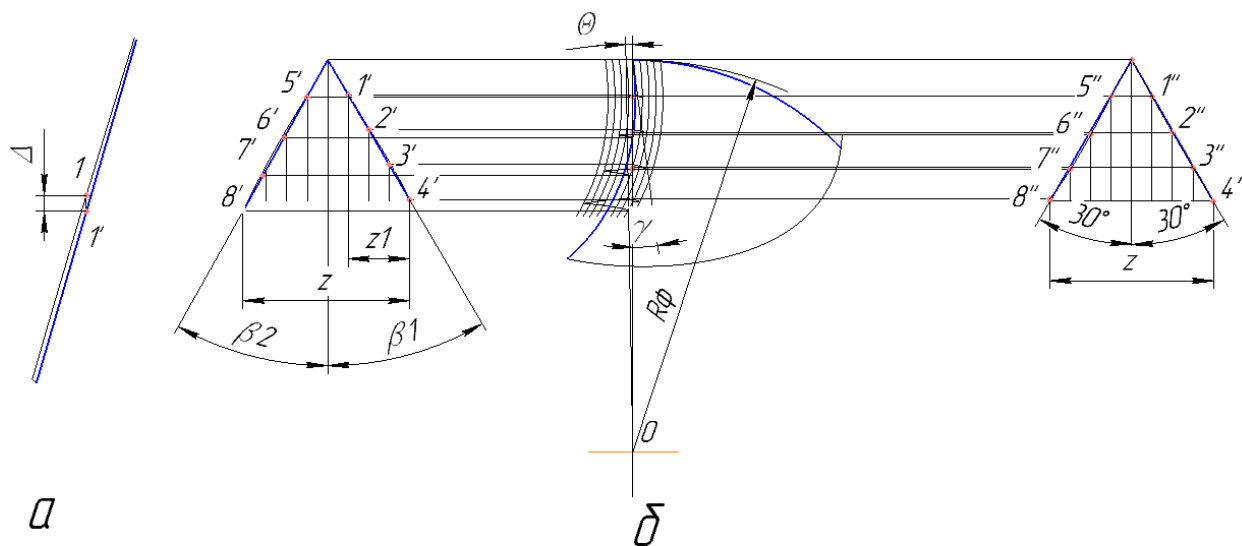


Рис. 1 Схема определения погрешности формирования резьбовых профилей

На схеме справа показан теоретический и фактический профили метрической резьбы шагом  $P$  с одинаковыми половинами угла профиля равными  $30^\circ$ , слева – профиль скорректированного зуба резьбообразующей части резьбофрезы, посередине – торцевое сечение канавки в точках 1...8 (на рисунке не указаны) и вершине зуба с учетом его поворота на угол  $\theta$  при перемещении вдоль оси инструмента, который зависит от угла  $\omega$  и диаметра инструмента.

На образующей скорректированного зуба резьбофрезы берем точку  $1'$  на расстоянии  $z_1$ , переносим на осевую плоскости фрезы, проходящую через вершину зуба, затем по затылочной кривой опускаем ее на соответствующее торцевое сечение, повернутое на угол  $\theta$ , получаем точку  $1_0$  (на рисунке не указана). По окружности радиусом  $O_1O$  переносим точку на осевое сечение. Далее сносим точку по линии связи вправо и получаем точку фактического профиля резьбы. Для повышения точности построение проведено для 4 точек для каждого из углов профиля. Соединив точки, можно посмотреть в какую сторону направлена кривизна профиля и оценить стрелу прогиба.

В результате построений стрела прогиба получилась вогнутой с обеих сторон резьбового профиля. Погрешности профиля составляют  $73 \text{ мкм}$  и  $172 \text{ мкм}$  соответственно. Решение данной задачи позволяет принять решения по использованию данного инструмента для обработки заданной резьбы.

## Литература

1. Мальков О.В., Литвиненко А.В. Общий случай профилирования зубьев резьбовой части сверлорезьбофрезы / Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №2. - С. 77-84.
2. Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6.

Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/579350.html> (дата обращения 10.03.2018).  
DOI: 10.7463/0613.0579350.

УДК 621.791.03; 621.9.04.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЩЕЛЕВЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

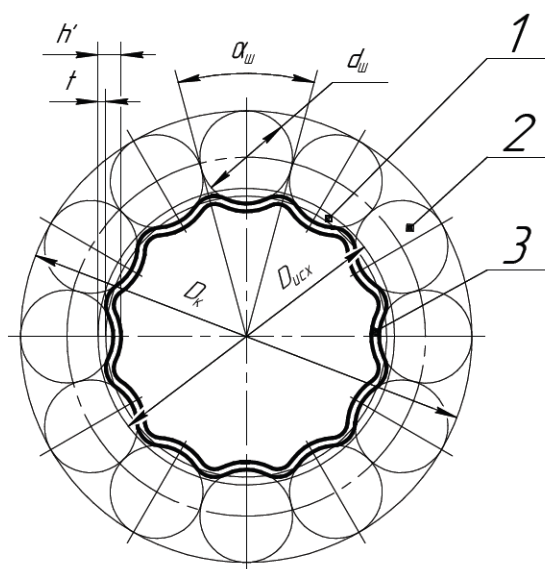
Дмитрий Александрович Бузаев

Студент 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.Н. Зубков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Для решения задачи фильтрации жидкостей и газов применяются различные подходы, каждый из которых, обладает своими преимуществами и недостатками. Наиболее распространены в настоящее время сетчатые металлические и металлокерамические, а также тканевые и бумажные фильтроэлементы. В случае загрязнения фильтроэлемента требуется замена фильтра, которая требует значительных расходов. Перспективными являются регенерируемые конструкции фильтров, обеспечивающие возможность очистки фильтроэлемента противотоком фильтрующей среды. Щелевая структура фильтра в таких конструкциях предпочтительна, так как обеспечивает сравнительно низкое гидравлическое сопротивление и высокую эффективность очистки противотоком [1]. Однако существующие методы получения щелевых фильтрующих структур имеют ряд ограничений как по минимальной ширине получаемых щелей, так и по низкой производительности и, как следствие, высокой себестоимости изготовления таких фильтров.

В работе исследуется возможность изготовления щелевых металлических фильтров методом деформирующего резания (ДР) сквозным прорезанием вершин гофр продольно-гофрированных заготовок. Заготовки предлагается получать из стандартных труб круглого сечения с помощью относительно простого приспособления – шариковой фильеры. Фильера представляет собой втулку с отверстием, соответствующим диаметру круглой трубы. В отверстии выполнена расточка с шириной, равной диаметру используемых шариков. Шарики в расточке могут удерживаться консистентной смазкой. По сравнению с обычной профильной



**Рисунок 1. Графическая расчетная модель:**  
1 – исходный профиль трубы, 2 – деформирующие тела, 3 – гофрированный профиль трубы.

фильерой шариковая фильера более технологична в изготовлении и позволяет частично заменить трение скольжения на трение качения. Это существенно уменьшает усилие формообразования продольно-гофрированной заготовки.

При продавливании или вытягивании через фильеру труба круглого сечения деформируется шариками и получает продольно-гофрированный профиль. При сквозном прорезании вершин гофр методом ДР будет получена щелевая фильтрующая структура.

Метод ДР основан на подрезании и пластическом деформировании подрезанных слоев с формированием макрорельефа в виде оребрения или а в данном случае – сквозных щелей [2]. Эксперименты проводились с трубами из коррозионно-стойкой стали 08Х18Н10Т и меди М1.

Главной проблемой при получении гофрированного профиля данным методом является разновысотность гофр, которая приводит к неравномерности глубины ДР и ширины фильтрующих щелей. Для минимизации разновысотности при гофрировании трубы была применена специально изготовленная центрирующая оправка. При работе со сварными трубами для уменьшения радиального биения желательнее расположение шва во впадине гофрированного профиля.

При продавливании через фильеру труб из коррозионно-стойкой стали усилие деформации оказалось столь велико, что приводило к потере устойчивости трубы, ее изгибу и разрушению. В связи с этим целесообразно уменьшать толщину стенки труб-заготовок, а также производить операцию гофрирования волочением через фильеру, а не продавливанием. Для реализации вытягивания трубы необходимо обеспечить надежное закрепление трубы и исключение внецентренного приложения силы вытягивания.

При проведении ДР на полученных трубах главной проблемой, особенно при обработке заготовок из коррозионно-стойкой стали, является отрыв ребер от поверхности трубы у основания выступа профиля с превышением предела прочности из-за слишком большой величины радиальной составляющей силы резания. С целью ее уменьшения целесообразно увеличение главного угла в плане у инструмента для ДР. В подавляющем большинстве случаев у образцов из коррозионно-стойкой стали наблюдался отрыв ребер с одной стороны при наличии щелей с противоположной стороны трубы из-за ее радиального биения и, как следствие непостоянной глубины резания по окружности. При ДР влияние биения трубы предлагается сводить к минимуму путем использования люнета.

При получении щелей методом деформирующего резания их ширина  $b$  зависит от подачи инструмента ( $S_0$ ), главного ( $\varphi$ ) и вспомогательного ( $\varphi_1$ ) углов в плане [3]. Минимальная подача, при которой удалось получить стабильную щелевую структуру на медных образцах – 0,3 мм/об. При такой подаче, а также  $\varphi_1=90^\circ$ ,  $\varphi=51^\circ$  расчетная ширина щелей  $b=0,067$  мм.

В дальнейшем планируется произвести новые эксперименты с волочением труб, оптимизацию геометрических параметров инструмента и режимных параметров при обработке ДР труб из различных материалов, в частности, из титана, а также экспериментальное определение тонкости очистки получаемыми фильтрами, их гидравлического сопротивления, а также оптимального соотношения длины фильтрующего элемента к исходному внутреннему диаметру трубы-заготовки.

## Литература

1. *Зубков Н.Н., Слепцов А.Д.* Получение микросеток и проницаемых щелевых труб механической обработкой // Известия высших учебных заведений. машиностроение. 2007, №3, с.55-60.
2. *Зубков Н.Н., Васильев В.А.* Фильтрующие элементы новой конструкции и оборудование для их производства. Металлург. 2016, №5, 77–82.

3. *Зубков Н.Н., Слепцов А.Д.* Управление шириной щелевого зазора фильтрующей структуры, получаемой методом деформирующего резания // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011, №5, 7С.

## УДК 621.9-05

### СИСТЕМА ПОИСКА ИНСТРУМЕНТА «ИНСТРОСС»

Александр Владимирович Виноградов

*Магистр 2 года*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,*

*доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В настоящее время потребление металлорежущего инструмента машиностроительными предприятиями России характеризуется широкой номенклатурой импортного инструмента, которая собрана в каталогах соответствующих производителей. Поиск инструмента по каталогам представляет собой трудоёмкую задачу.

Различают две задачи поиска инструмента и их комбинацию:

- прямая задача, когда необходимо по известному обозначению инструмента указать его характеристики;
- обратная задача, когда требуется найти обозначения инструмента и производителя по указанным характеристикам (диапазону характеристик);
- комбинированная задача (задача поиска аналога инструмента), когда необходимо сначала выявить характеристики заданного инструмента, и затем, по найденным характеристикам, поднять все обозначения инструментов других производителей.

Значительное сокращение времени решения указанных задач возможно с использованием баз данных (БД) и программных оболочек для них, позволяющих систематизировать поиск инструмента.

Исходные данные для наполнения БД представлены в открытом доступе в среде Интернет на сайтах соответствующих производителей в различных форматах. Поскольку фирмы-производители представляют информацию в своих форматах данных, то данные по инструментам были приведены к единой форме, получившей название *стандартной*.

В результате проведённой работы по систематизации разрозненных каталогов различных производителей в автоматическом режиме наполнена БД спиральных свёрл [1, 2], концевых фрез [3, 4] и твердосплавных пластин [5, 6]. Общий объём номенклатуры в БД составляет более 150 тысяч наименований и содержит более 15 производителей инструментов. К БД написана оболочка, получившая название «Инстросс», регламентирующая ввод и вывод данных и служащая для пользователя интерфейсом общения с БД [7]. Интерфейс программы представлен на рис.1

При использовании системы «Инстросс» в производственной деятельности одной организации, сокращение времени обработки тендерных заявок составило от 10 часов в месяц. Автоматическое решение указанных задач поиска инструментов позволяет высвободить временные ресурсы и повышать эффективность подбора инструментов.

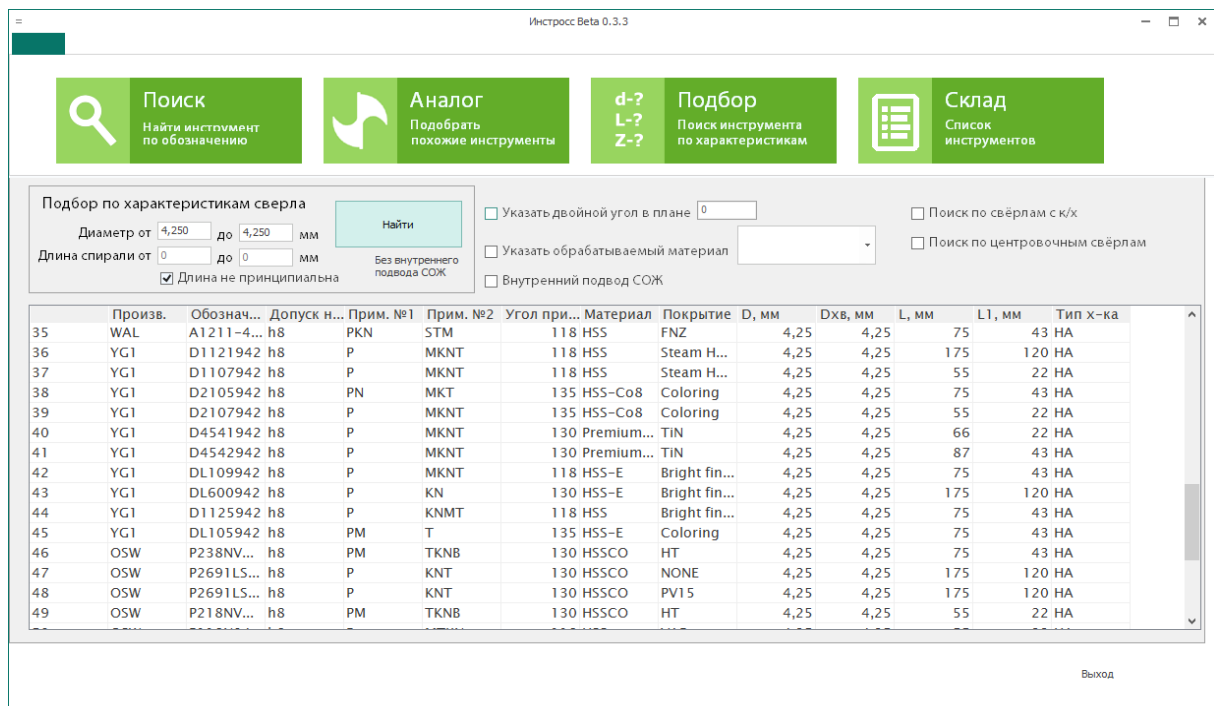


Рисунок 2. Система поиска инструмента "Инстросс" - внешний вид

## Литература

1. Пестрецов С.И., Алтунин К.А., Соколов М.В. БАЗА ДАННЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ САПР ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ – Вестник ТГТУ. 2012. Том 18. №3 Transactions TSTU.
2. Алтунин К.А., Пестрецов С.И., Соколов М. В. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ БАЗЫ ДАННЫХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ И ОСНОВНЫХ ТИПОВ ФРЕЗ. – Вестник ТГТУ. 2015. Том 21. №1. Transactions TSTU.
3. Потапова М.С., Виноградов Д.В. ОБЗОР ФРЕЗ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ. – Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 11. с. 21-33. Режим доступа <http://technomagelpub.elpub.ru/jour/article/view/718/720>, дата обращения 13.03.18.
4. Мальков О.В., Степанова М.Ю. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ. – Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 07. С. 76–95. Режим доступа <http://technomagelpub.elpub.ru/jour/article/view/228/230>, дата обращения 13.03.18
5. Виноградов Д.В., Солодилов С.А., Шаталова И.И. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ КРЕПЛЕНИЯ СМП. – Справочник. Инженерный журнал.- М.: Машиностроение.- 2007.- №2.-С.38-41.
6. Виноградов Д.В. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РАЗВЕРТКИ: ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И РАЗМЕРЫ. – Инженерный вестник. 2013. № 4. С.3. Режим доступа <http://engsi.ru/doc/567682.html>, дата обращения 13.03.18.
7. Грофф Дж. Р., Вайнберг П.Н., Оппель Э. Дж. SQL. Полное руководство. - Издательский дом "Вильямс" – Москва, 2015.



**УДК 621.91.01****МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБЪЕМА СТРУЖЕЧНОЙ КАНАВКИ МЕТЧИКА.**

Никита Олегович Гришин

*Студент 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Древаль,  
доктор технических наук, Профессор, заведующий кафедрой «Инструментальная  
техника и технологии»*

В работе обоснована необходимость расчета объема стружечной канавки метчика. Рассмотрены преимущества и недостатки графического и аналитического методов решения задачи. По итогам сравнения для решения задачи выбран аналитический метод, ввиду его универсальности. Приведена методика аналитического расчета объема стружечной канавки метчика в пределах режущей части для метчиков с двухрадиусной прямой стружечной канавкой. Методика включает в себя следующие основные этапы:

- Введение допущений, необходимых для проведения расчетов;
- Определение положения расчетной системы координат;
- Нахождение координат узловых и промежуточных точек стружечной канавки;
- Нахождение пределов интегрирования;
- Вывод математических зависимостей.

Полученные формулы универсальны и позволяют проводить расчеты объема для стандартизованного инструмента.

Для подтверждения точности и правильности расчетов проведено сравнение аналитических выкладок с графическим построением.

В дальнейшем методика позволяет производить анализ резбонарезного инструмента. В частности, зная объем стружечной канавки, можно рассматривать процессы распределения стружки между канавками; определить допустимую глубину нарезания внутренней резьбы метчиками по условию заполнения стружечных канавок; производить оценку влияния геометрических параметров метчиков на объем стружечной канавки.

**Литература**

1. *Древаль А.Е.; Литвиненко А.В.; Нгуен Т. Х.* Моделирование отказов машинных метчиков при реверсе – Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 01. 1 с.
2. *Древаль А.Е., Литвиненко А.В.* Формирование отказов метчиков, Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 03. 2 с.
3. *Попов В.М., Гладиллина И.И.* Сверловщик – М.: «Высшая школа», 1971, 154 с.
4. *Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н.* Проектирование металлорежущих инструментов – М.: МАШГИЗ, 1962, 526 с.
5. *Киреев Г.И.* Проектирование метчиков и круглых плашек: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2008, 23 с.
6. *Головкин В.В., Дружинина М.В.* Нарезание резьбы метчиками в глухих отверстиях деталей из труднообрабатываемых материалов с применением ультразвуковых колебаний – Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №6-1. с.57-64
7. *Древаль А.Е, Мальков О.В., Малькова Л.Д.* Резбонарезной инструмент: учебное пособие – М., МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016,38 с.

8. *Древаль А.Е.* Расчет и конструирование метчиков: Учебное пособие по курсу "Режущий инструмент", Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1979, 31 с.
9. *Гаврилов В.Р., Иванова Е.Е., Морозова В.Д.* Кратные и криволинейные интегралы. Элементы теории поля: учебник для вузов, Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003, 102с.
10. ГОСТ 3266 –81. Метчики машинно-ручные. Конструкция и размеры, Москва, изд.–во стандартов, 1981, 50 с.

## **УДК 621.914.1**

### **ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ**

Константин Владимирович Дульнев

*Студент 4 курса, специалист*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В современном машиностроении многие детали подвергаются обработке фрезерованием. При этом необходимо индивидуально для каждой детали назначать режимы резания [1]. Назначение рациональных режимов резания является важным звеном в технологии машиностроения, так как обеспечивает такие показатели производственного процесса, как производительность труда, качество продукции, ее себестоимость и т.д. [2]

Для расчета режимов резания на основании методики, изложенной в [3] была написана программа на языке программирования Delphi, которая позволяет получить наиболее рациональные режимы при фрезеровании уступов, пазов, карманов и контуров концевыми фрезами.

Исходными данными к программе являются схема фрезерования (контур, паз, карман или уступ), ширина и глубина резания, материал и твердость заготовки и материал инструмента. После ввода исходных данных общение с пользователем ведется в диалоговом режиме.

Сначала программа рассчитывает минимальный диаметр фрезы для заданных ширины и глубины резания и предлагает выбрать пользователю фрезу по ГОСТ 17025-71 (Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком. Конструкция и размеры) и ГОСТ 17026-71 (Фрезы концевые с коническим хвостовиком. Конструкция и размеры) [4]. После выбора фрезы происходит расчет подачи и скорости резания, зависящие от твердости и материала заготовки, материала инструмента и других факторов, которые при расчете учитываются соответствующими коэффициентами. Также рассчитываются подача стола и необходимая частота вращения шпинделя.

После расчета параметров режима резания проводится проверка возможности проведения данной операции на оборудовании. Пользователю предлагается выбрать режимы на одном из предложенных станков со ступенчатой регулировкой подачи и частоты вращения шпинделя или ввести эти данные самому для станка, которого нет в программе. Далее программа пересчитывает скорость резания и подачу, производит расчет мощности и сил резания [5], производит проверку изгибных напряжений во фрезе и

проверку по мощности станка. На финальном этапе программа производит расчет параметров нормирования.

Данная программа позволит значительно экономить время при расчете режимов резания, а также может помогать студентам и технологам назначать наиболее рациональные режимы при фрезеровании.

### **Литература**

1. *Виноградов Д.В.* К вопросу определения скорости резания, обеспечивающей минимальную себестоимость обработки.– Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. № 11. С. 4.
2. *Виноградов Д.В.* К вопросу определения обрабатываемости материалов.– Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана.– 2005. № 1. С. 12-13.
3. *Даниленко Б.Д., Зубков Н.Н.* Выбор режимов резания. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.– 55 с.
4. *Древаль А.Е., Виноградов Д.В., Мальков О.В.* Определение минимального диаметра концевой фрезы.– Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 11. С. 43-59. Режим доступа <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/103/105> (дата обращения 15.03.2018).
5. *Малькова Л.Д.* Оценка энергопотребления при механической обработке плоскостей различными способами фрезерования.– Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. №12 (60). 14 с. DOI 10.18698/2308-6033-2016-12-1559.

**УДК 621.9.048.4**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ МЕТОДОМ**

Георгий Вадимович Ким

*Студент 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Б. Ставицкий,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»,*

Титановые сплавы широко используются в различных отраслях промышленности и медицине. Это объясняется наличием таких ценных свойств титана, как низкая плотность в сочетании с высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Одним из самых широко используемых титановых сплавов является сплав Ti-6Al-4V (в российской классификации ВТ6). Однако изготовление многих деталей из сплава ВТ6 традиционными механическими методами часто затруднено или невозможно. В связи с этим все большее применение при производстве таких деталей находят электрофизические методы обработки, в частности электроэрозионная обработка (ЭЭО). Несмотря на все более широкое применение этого метода, его возможности, особенно для обработки титановых сплавов, реализуются далеко не полностью. Во многом это вызвано необоснованным выбором и назначением режимов обработки, что приводит к значительному снижению производительности обработки, увеличению износа электрода-инструмента, нестабильности процесса и существенному увеличению времени изготовления деталей.

Цель представляемой работы – исследование обрабатываемости титанового сплава ВТ6 и разработка рекомендаций по назначению рациональных режимов электроэрозионной обработки деталей из этого материала. Исследования проводились с использованием результатов решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала (задачи Стефана). С помощью решения системы уравнений в специальной программе «Erosion», разработанной специалистами кафедры МТ2 «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана, можно определить зависимость глубины проплавления материала от длительности импульса при действии различных тепловых потоков.

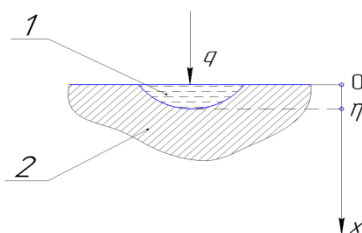


Рис 1. Схема для определения границы фазового превращения материала: 1 – жидкая фаза; 2 – твердая фаза;  $q$  – тепловой поток;  $\eta$  – координата границы фазового превращения материала.

Как известно, в результате действия одного электрического разряда на обрабатываемой поверхности появляется след – лунка. Геометрические параметры этих лунок зависят от параметров электрических импульсов (тепловых потоков) и теплофизических свойств обрабатываемого материала. Исследуя форму и размеры получаемых на разных режимах лунок можно определить эффективность выбранных режимов обработки и определить рациональные. Используя результаты решения тепловой задачи Стефана, полученные с помощью программы «Erosion», был проведен теоретический анализ формирования лунок на титановом сплаве ВТ6 при действии различных тепловых потоков.

В настоящее время невозможно установить точную корреляцию между режимными параметрами ЭЭО и тепловым потоком, так как явления в межэлектродном промежутке, протекающие в процессе ЭЭО, весьма сложны и описываются в большинстве своём только качественно. Поэтому для определения рациональных режимов была установлена корреляция между обрабатываемостью исследуемого сплава ВТ6 и материалами, для которых рациональные режимы обработки определены. Можно предположить, что материалы, имеющие совпадающие или близкие зависимости глубины проплавления материала от длительности импульса теплового потока, следует обрабатывать на таких же или схожих режимах.

В результате проведенных исследований были получены зависимости: глубины проплавления сплава ВТ6 от времени действия плотности теплового потока; минимальной длительности импульса, необходимой для начала плавления материала, от плотности теплового потока; максимальной и эффективной глубины проплавления и соответствующие им длительности импульсов от плотности теплового потока.

В работе также произведен оценочный расчет получаемой шероховатости обработанной поверхности в зависимости от действующих тепловых потоков, проведено сравнение обрабатываемости титанового сплава ВТ6 с титаном и сплавом ВТ14.

Результаты, полученные на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала, можно использовать для назначения рациональных режимов ЭЭО для сплава титана ВТ6.

## Литература

1. *Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П.* Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / под ред. Б.П. Саушкина. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010. 437 с.
2. *Золотых Б.Н., Любченко Б.М.* Инженерные методы расчета технологических параметров электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1981. 52 с.
3. *Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 512 с. [Kreith F., Black W.Z. Basic heat transfer. N.Y., 1980].
4. *Ставицкий И.Б.* Определение рациональных режимов электроэрозионной обработки на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала // Вестник МГТУ. Сер.: Машиностроение. 2011. Спец. выпуск «Энергетическое и транспортное машиностроение». С. 164-171.
5. *Зиновьев В. Е.* Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справ. изд./ В. Е. Зиновьев. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
6. *Томашов Н. Д.* Титан и коррозионностойкие сплавы на его основе/ Н. Д. Томашов. – М.: «Металлургия», 1985. – 60 с.
7. *Сьянов С. Ю.* Связь параметров электрофизической обработки с показателями качества поверхности, износа инструмента и производительностью процесса/ С. Ю. Сьянов// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2008. – №1. – 6 с.
8. Титановые сплавы в машиностроении/ *Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн.* – Л.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
9. *Materials properties handbook: titanium alloys /editors, Rodney Boyer, Gerhard Welsch, E.W. Collings.* – Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, ASM International. – 1994. – 788 p.

УДК 683.531.19, 669.017

## КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Валерий Николаевич Кириченко

*Магистрант 1 года,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Композиционный материал (КМ) – это композиция, представляющая собой объемное сочетание хотя бы двух химически разнородных материалов с четкой границей раздела между этими компонентами (фазами) и характеризующаяся свойствами, которых не имеет никакой из ее компонентов в отдельности [1, 2].

В настоящее время композиционные материалы имеют большое разнообразие как по структуре и составу, так и по свойствам. Это приводит к необходимости их классификации, с целью систематизации, которая должна фиксировать закономерные

связи между классами материалов с целью определения их места в системе, которое указывает на его свойства. Классификация каких-либо объектов по различным признакам (как, например, выполнено в [3, 4]) позволяет проводить эффективный поиск информации об объектах исследования, содержащихся в специальных базах данных, которые являются инструментом при работе с объектами. Использование готовой базы данных значительно сокращает время на поиск информации о композиционных материалах, что подтверждает актуальность выбранной темы.

Анализ литературы [5, 6, 7, 8.], посвященной композиционным материалам, позволил выделить пять основных классификационных признаков. Это материал матрицы, тип арматур и ее ориентации, структура и расположение компонентов, метод получения и классификация КМ по назначению.

Материал матрицы (материаловедческий принцип) является наиболее важным признаком классификации КМ, так как свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред. По материалу матрицы можно выделить следующие группы композиционных материалов: металлические (МКМ), полимерные (ПКМ), керамические (ККМ).

По типу арматуры и ее ориентации КМ подразделяют на две основные группы: изотропные и анизотропные. Изотропные КМ имеют одинаковые свойства во всех направлениях. У анизотропных материалов свойства зависят от направления армирующего материала. Их подразделяют на однонаправленные, слоистые и трехмерно-направленные. Анизотропия материалов закладывается конструктором для получения КМ с заданными свойствами. Гибридными называют КМ, содержащие в своем составе три или более компонентов.

В соответствии с классификацией по структуре и расположению компонентов КМ делятся на группы с матричной, слоистой, каркасной и комбинированной структурой. Матричную структуру имеют дисперсно-упрочненные и армированные КМ. К материалам со слоистой структурой относятся композиции, полученные из набора чередующихся слоев фольги или листов материалов различной природы и состава. К композиционным материалам с каркасной структурой относятся материалы, полученные методом пропитки. Комбинированную структуру имеют материалы, содержащие комбинации первых трех групп.

По методу получения КМ делятся на материалы, полученные жидкофазными и твердофазными методами, а также методами осаждения – напыления, комбинированными методами. К жидкофазным методам относятся пропитка (пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами) и направленная кристаллизация сплавов. К твердофазным методам получения КМ относятся прокатка, экструзия,ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др. Композиционные материалы, получаемые твердофазными методами, используются в виде порошка или тонких листов. При получении КМ методами осаждения – напыления матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т. п. Комбинированные методы заключаются в последовательном или параллельном применении нескольких методов.

Классификация КМ по назначению достаточно условна, поскольку часто композиты являются многофункциональными материалами. Тем не менее, среди множества КМ выделяют материалы обще конструкционного назначения (несущие конструкции судов, самолетов, автомобилей и др.), жаропрочные материалы (лопатки турбин самолетов, камеры сгорания), термостойкие материалы (изделия, работающие в условиях частых теплосмен), фрикционные материалы (тормозные колодки), антифрикционные материалы (подшипники скольжения), ударопрочные материалы

(броня самолетов, танков), теплозащитные материалы, материалы со специальными свойствами (магнитными, электрическими) и др.

### Литература

1. *Батаев А.А., Батаев В.А.* Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / *М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.*; под ред. *А.А. Берлина.* – СПб: Профессия, 2008 – 560 с
3. *Лыкосова Е.С., Виноградов Д.В.* Патроны спиральные. основные типы и размеры.– Инженерный вестник. Электронный журнал.– 2013. №5. С.3
4. *Потапова М. С., Виноградов Д.В.* Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой.– Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №11. С.21-33  
Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/718/720> (дата обращения 15.03.2018)
5. *Курганова Ю.А., Колмаков А.Г.* Конструкционные металломатричные композиционные материалы.– М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2015. 144 с.
6. *Курганова Ю.А., Фетисов Г.П., Гаврилов Г.Н.* Композиционные материалы в авиации и их прогнозирование.– Технология металлов. 2015. № 1. С. 22-25.
7. Композиционные материалы. Свойства композиционных материалов. Применение композиционных материалов. Эвтектические и полимерные композиционные материалы // МТОМД.ИНФО: сайт Режим доступа <http://www.mtomd.info/archives/1764> (дата обращения 15.03.2018).
8. *Каблов Е.Н.* Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. С.36-39. Режим доступа [https://viam.ru/sites/default/files/uploads/pdf\\_versiya\\_statii.pdf](https://viam.ru/sites/default/files/uploads/pdf_versiya_statii.pdf) (дата обращения 15.03.2018).

### УДК 621.993.2

## РАЗРАБОТКА РЕЗЬБОВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ ФГУП НПО ИМ. Н. А. ПИЛЮГИНА

Валерий Николаевич Козяр

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Мальков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Значительная часть деталей приборов производится из магнитомягких сплавов, которые обладают свойствами ферритных нержавеющей сталей. Обработка таких материалов и обеспечение высокого качества резьбовой поверхности являются сложной технической задачей, связанной с большой вязкостью материалов, частыми вырывами и неудовлетворительной шероховатостью обработанной поверхности.

Задача усложняется масштабным фактором, так как в приборах применяются резьбы от М1 до М1,6. При использовании зарубежных аналогов резьбовых фрез

требуемое качество резьбы не обеспечивается, поэтому было принято решение разработать и изготовить резьбовую фрезу для обработки внутренней резьбы М1,2х0,25.

Решение данной проблемы сводится к выбору материала инструмента, расчету и выбору геометрических параметров [1, 2, 3] и выбора покрытия режущей части.

На рисунке 1 представлен внешний вид резьбовой фрезы для обработки резьбы М1,2х0,25 в деталях из материала 16Х. Данный материал имеет невысокую прочность ( $\sigma_b=230\dots290$  МПа) и высокое относительное удлинение при разрыве ( $\delta=20\dots30\%$ ).

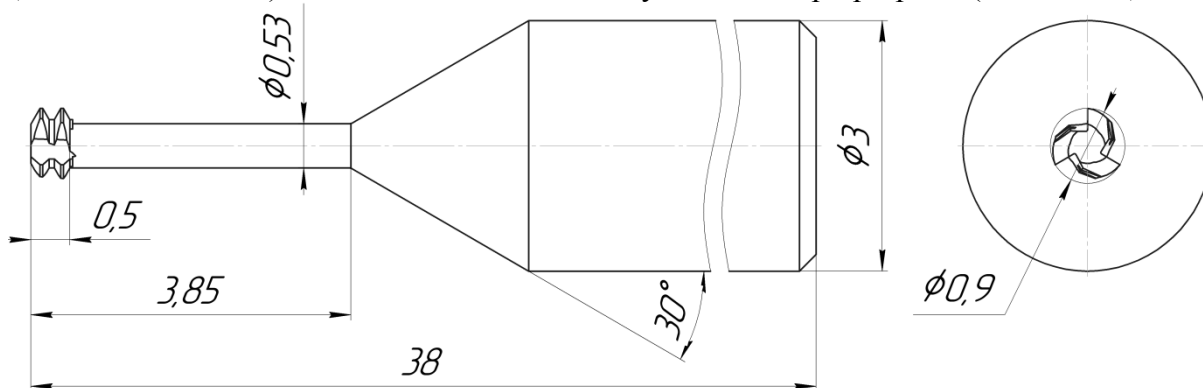


Рис. 1. Резьбовая фреза для обработки резьбы М1,2х0,25.

### Литература

1. Древаль А.Е., Мальков О.В., Литвиненко А.В. Точность обработки внутренних резьб комбинированным инструментом // Известия ВУЗов. Машиностроение.- 2011.- №12.- С. 44-52.
2. Мальков О.В., Карельский А.С. Моделирование срезаемого слоя при резьбофрезеровании // Известия ВУЗов. Машиностроение.- 2017. № 9.- С.54-64.
3. Цепков А. В. Профилирование затылочных инструментов. – М.: Машиностроение, 1979. – 150 с.

### УДК 621.9.01

## ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК БЫСТРОРЕЖУЩИМИ СВЕРЛАМИ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Анастасия Сергеевна Куприянова

Студентка 5 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е. Древаль,

доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В машиностроении одним из важнейших источников энергопотребления является процесс механической обработки. В данной работе исследована зависимость затрат энергии от марки инструментальной стали при обработке конструкционной стали 45 сверлением.

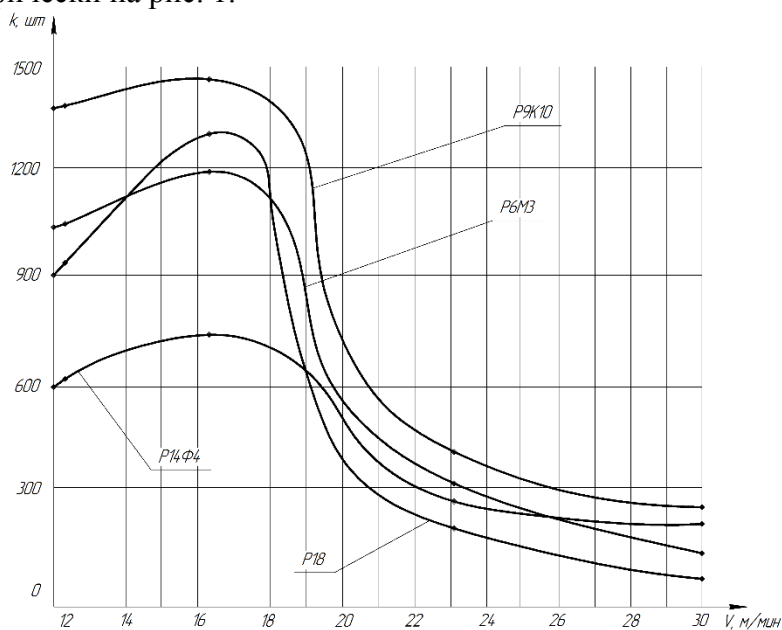
Авторами работы [4] на кафедре МТ2 были выполнены стойкостные испытания сверл из различных марок быстрорежущей стали. Обработка производилась сверлами,



изготовленными из быстрорежущих сталей марок P18, P14Ф4, P6M3 и P9K10. Используемый при этом диапазон скоростей резания  $v$  находился в пределах от 12 до 30 м/мин, подача  $S_o=0,28$  мм/об.

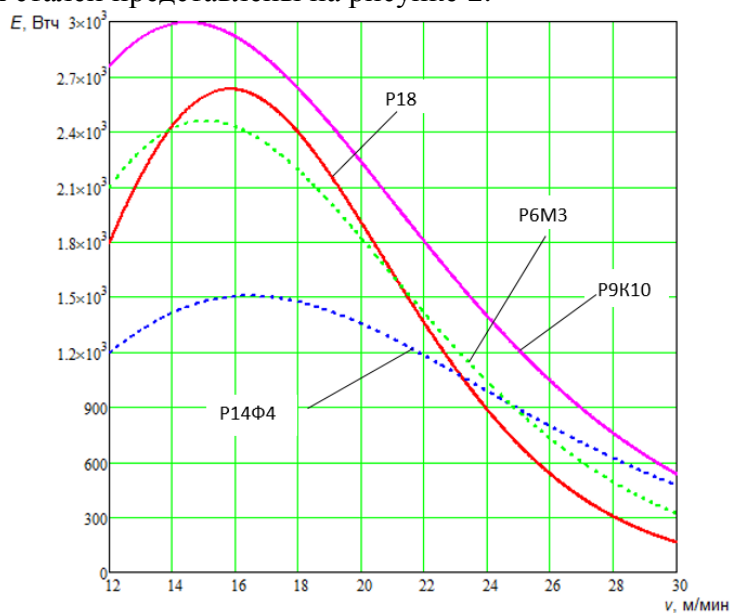
В результате исследований было установлено, что различный материал режущей части сверл не оказывает заметного влияния на характер стойкостных зависимостей, но определяет интенсивность нарастания линейных величин износа во времени в зависимости от скорости резания.

Результаты экспериментальных зависимостей  $k=f(v)$ , полученные авторами работы [4], представлены графически на рис. 1.



**Рисунок 3. Графики исходных данных**

Наличие стойкостных зависимостей позволяет рассчитать затраченное количество энергии на обработку  $E$ , Вт·ч. Графики зависимостей  $E=f(v)$  для исследуемых марок инструментальных сталей представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2. Зависимость затрат энергии за время стойкости инструмента от скорости резания**

**Выводы**

1. Затраты энергии на обработку отверстий за период стойкости сверл изменяются нелинейно и имеют максимум в диапазоне скоростей 12...18 м/мин.
2. Потребление энергии за период стойкости сверла зависит от скорости резания и марки инструментальной стали, что наряду с другими факторами следует учитывать при назначении скорости резания на стадии проектирования операции сверления
3. Для более точных исследований энергопотребления следует отказаться от допущения, что момент резания и осевая сила резания не меняются в ходе износа сверла, и установить влияние величины износа на момент и осевую силу.

### **Литература**

1. *Малькова Л.Д.* Оценка энергопотребления при механической обработке плоскостей различными способами фрезерования / Л.Д. Малькова // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2016. - №12
2. *Щёлокова П.Ю.* Алгоритм нахождения режимных параметров минимального энергопотребления на примере сверления / П.Ю. Щёлокова, А.Е. Древаль // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2012: Машиностроительные технологии». — 2012 г.
3. *Древаль А.Е.* Энергопотребление при обработке отверстий быстрорежущими сверлами / А.Е. Древаль, П.Ю. Щёлокова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2013. - №12
4. *Даниленко Б.Д.* Исследование возможностей повышения режущих свойств спиральных сверл / Б.Д. Даниленко, А.Л. Котликова, В.А. Самсонов, Н.И. Федотов // Резание и инструмент. Труды МВТУ — 1975. - №178
5. *Грановский, Г.И.* Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов / Г.И. Грановский.-Москва: Машиностроение, 1982. — 112 с.
6. *Даниленко, Б.Д.* Выбор режимов резания / Б.Д. Даниленко, Н.Н. Зубков.-Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 37 с.
7. *Косилова, А.Г.* Справочник технолога-машиностроителя, том 2 / А.Г. Косилова, Р.П. Мещеряков.-Москва: Машиностроение, 1986. — 496 с.
8. *Грановский, Г.И.* Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский.-Москва: Высшая школа, 1985. — 304 с.
9. *Корчемкин А.Д.*, ред. Режимы резания металлов: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Москва, НИИТавтопром, 1995, 456 с.
10. *Адаменко В.М., Мрочек Ж.А.* Энергоэффективность процесса резания поверхностей заготовок деталей на основе анализа энергопотребляющих показателей технологического оборудования. Наука и техника, 2012, № 4

**УДК 621.791.14**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

Глеб Георгиевич Ларин

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.Ю.Шачнев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Проведен анализ литературных источников применения сварки трением с перемешиванием (СТП), технологических схем, конструкции рабочих инструментов, видов оборудования.

Рассмотрены рекомендации по подбору оптимальных режимов для соединения деталей. Выдвинута гипотеза о существенном влиянии угла наклона инструмента на протекании процесса СТП, качество получаемого соединения и возможной связи его с другими параметрами СТП.

Составлен примерный план эксперимента.

### **Литература**

1. *В.Н. Сафин, И.А. Щуров, В.Б. Федоров.* Технологии сварки трением с перемешиванием для соединения труб из алюминиевых сплавов. // Вестник ЮУрГУ Серия «Машиностроение», 2012. – 117-121 с.
2. *Ю. Г. Людмирский, Р. Р. Котлышев.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. // Доклады АН СССР. – 1972, Т.115. – №3. – С. 174-182.
3. *А.Я.Ищенко, С.В.Подъяельников, А.Г.Покляцкий.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. // ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ. Машиностроение и материаловедение. 2014 – №11. – С. 53-57.
4. *Е. В. Сергеева.* Сварка трением с перемешиванием в авиакосмической промышленности. // С. 4-8.
5. *Е.А. Лаптев, С.В.Михайлицин, А.И.Беляев.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. // Сборник статей. – №3. – С. 377-379.
6. *Е. В. Сергеева.* Сварка трением с перемешиванием в мировом кораблестроении. // HSC Consulting. – 2012, С. 3-7.
7. *Рязанцев, В.И. В.Н. Мацнев, В.Ю. Конкевич.* Сварка трением с перемешиванием деформируемых и литейных алюминиевых сплавов // Авиационная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 33–36.
8. *В.И.Муравьев, П.В.Бахматов, К.А. Мелкоступов* К вопросу актуальности исследования сварки трением с перемешиванием конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов. // Ученые записки . – 2010, № II-1(2). – С. 110-125.
9. *А.Г. Покляцкий.* Характерные дефекты при сварке трением с перемешиванием тонколистовых алюминиевых сплавов и основные причины их образования / // Автоматическая сварка. – 2008. – № 6. – С. 48–52.

### **УДК 621.9.025**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА НА ТЕПЛОЕ И НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ИНСТРУМЕНТА И ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТЬ**

Александр Владимирович Лукин

*Магистрант 2 курса,*

*кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»*

*Ульяновский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Чихранов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»*

Для повышения работоспособности режущего инструмента широкое применение в настоящее время находят износостойкие покрытия, среди которых следует выделить покрытия, осаждаемые физическими способами из паровой среды (PVD) [1, 2]. В работе проведено исследование влияния таких покрытий на основе нитрида титана составов TiAlN, TiZrN, TiSiN, TiFeN, TiCrN, TiMoN на тепловое и напряженное состояния режущего клина инструмента из твердого сплава МК8 при продольном точении заготовок из стали 30ХГСА ( $V=180$  м/мин;  $S=0,15$  мм/об;  $t=0,5$  мм). Состав покрытий выбирали согласно рекомендациям работы [1]. Для расчета теплового и напряженного состояния экспериментально определяли полную длину контакта стружки с передней поверхностью  $S_\gamma$ , коэффициент укорочения стружки  $K_L$ , составляющие силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Для легированных покрытий наблюдается увеличение этих показателей по сравнению с покрытием TiN.

Таблица 1. Контактные характеристики режущего инструмента с покрытиями

Покры- тие	Содержа- ние лег. элемента, % мас.	$S_\gamma$ , мм	$K_L$	$P_x$ , Н	$P_y$ , Н	$P_z$ , Н	$q_N$ , МПа	$q_F$ , МПа	$q_n$ , МВт /м <sup>2</sup>	$q_z$ , МВт /м <sup>2</sup>	$T_{max}$ , °С
TiN	-	0,447	1,77	69	114	197	624	379	73	-117	1108
TiAlN	17,55	0,501	1,91	83	130	209	596	357	68	-121	1135
TiZrN	15,63	0,508	1,96	86	133	216	608	362	71	-128	1159
TiSiN	1,25	0,492	1,90	81	127	205	594	354	72	-128	1116
TiFeN	0,85	0,520	2,01	88	136	220	613	365	75	-136	1179
TiCrN	21,70	0,527	2,06	90	138	223	616	368	74	-134	1180
TiMoN	13,99	0,514	1,98	87	134	218	610	361	75	-135	1172

Изменение состава покрытий оказывает влияние на величину нормальных  $q_N$  и касательных  $q_F$  удельных нагрузок, действующих на передней поверхности инструмента. Бóльшее увеличение длины контакта стружки с передней поверхностью по сравнению с силами резания, характерное для покрытий сложного состава приводит к их снижению на 3...7% по сравнению с покрытием TiN.

Для определения контактных температур на передней и задней поверхностях инструмента использовали аналитическое решение А.Н. Резникова. Выявлено, что легирующие элементы по-разному влияют на величину интенсивности теплового потока  $q_n$  на передней поверхности. Так, легирование покрытия цирконием, кремнием и алюминием приводит к снижению величины  $q_n$  на 2...7%, в то время как применение в качестве легирующего элемента железа, хрома и молибдена несколько ее повышает (на 2...4%). При этом происходит увеличение интенсивности теплового потока по задней поверхности  $q_z$ . Перераспределение тепловых потоков в инструменте приводит к изменению температур на передней поверхности, которые для покрытий сложного состава выше на 2...6% по сравнению с покрытием нитрида титана.

Исследование теплового и напряженного состояния режущего клина проводили с использованием пакета программ ANSYS. Для покрытий сложного состава по сравнению с покрытием TiN наблюдается смещение изотерм температурных полей в режущем клине инструмента в сторону от задней поверхности и режущей кромки. Причиной этого является увеличение длины контакта стружки с передней поверхностью  $S_\gamma$ . Кроме того для покрытий сложного состава наблюдается больший прогрев инструмента, что проявляется в смещении изотерм в сторону, противоположную передней поверхности. Использование покрытий сложного состава приводит к снижению напряженного состояния режущего клина инструмента. При этом наименьшие значения температур и

напряжений в режущем клине инструмента наблюдаются при использовании покрытия TiSiN.

### Литература

1. Табаков В.П., Чихранов А.В. Оценка напряженного состояния износостойких покрытий режущего инструмента // Вестник машиностроения, 2016. – №3. – С.49-54.
2. Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора параметров состава износостойкого покрытия // Станки и инструменты, 2016. – №3. – С.14-18.
3. Табаков В.П., Чихранов А.В. Прогнозирование работоспособности режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе оценки его теплонапряженного состояния и трещиностойкости // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2017. – №2 (41). – С. 223-229.

### УДК 520.8

## АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ НА ОПЕРАЦИИ ТОЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.

Анна Олеговна Малькова

*Студент 5 курса,*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.Г. Васильев,*

*кандидат технических наук, доцент, кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Мощность является одной из важной характеристикой процесса механической обработки. В определение мощности входят составляющие силы резания. Анализ составляющих сил резания необходим для: выполнения расчета привода станка, оценки прочности режущего инструмента, выбора оптимальных геометрических параметров, оценки точности изделия, качества поверхностного слоя, вибрации, энергопотребления. Таким образом, оценка мощности — это важный параметр для определения большинства показателей механической обработки.

Целью данной работы является сравнение значений мощности, полученные во время выполнения эксперимента со значениями, полученными в результате расчета, с использованием среды графического программирования NI LabVIEW 2011. Измерения потребляемой мощности происходит в режиме реального времени.

Формула, для вычисления потребляемой мощности выглядит следующим образом:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Мощность резания при токарной обработке равна:

$$P = \sqrt{\overline{P}_x^2 + \overline{P}_y^2 + \overline{P}_z^2}, \text{ где } \overline{P}_x, \overline{P}_y, \overline{P}_z \text{ - составляющие силы резания.}$$

На изменение мощности влияет обрабатываемый материал, геометрические параметры инструмента, режимы резания и др.

В работе выполнен эксперимент, по определению потребляемой мощности на операции точения с использованием токарного проходного резца. Для измерения мощности необходим динамометр, который не всегда удобно использовать, и желательно измерять без него используя другие средства оценки потребляемой мощности в выбранный момент времени.

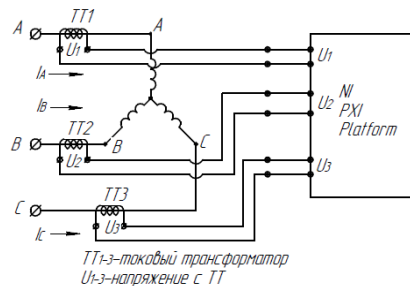


Рис.1. Принципиальная схема измерения потребляемой мощности

Экспериментальное определение потребляемой мощности на операции точения осуществлялось по анализу величины тока, потребляемого главным электродвигателем токарного станка. Регистрация и измерение величины тока производилось с использованием трансформаторов тока. На рис.1 изображена принципиальная схема измерения потребляемой мощности.

Расчет потребляемой мощности и измерение производился одновременно в режиме реального времени в среде графического программирования LabVIEW с использованием NI PXI Platform.

В результате работы было сделано:

1. Разработана принципиальная схема измерения потребляемой мощности на операции механической обработки с использованием PXI Platform
2. Определено влияние технологических параметров механической обработки на общую затрачиваемую мощность
3. Разработана программа расчета и измерения мощности на операции механической обработки

## Литература

1. Резание материалов и режущий инструмент Методические пособие по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». доц., к.т.н. *В.Н. Козлов* — Томск: Изд. ТПУ, 2014.-131 с.
2. *Малькова Л.Д.* Оценка энергопотребления при механической обработке плоскостей различными способами фрезерования // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. 2016. №12(60). DOI: 10.18698/2308-6033-2016-12-1559.
3. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Древаль А.Е., Васильев С.Г.*,

- Виноградов Д.В., Мальков О.В.* Машиностроение и компьютерные технологии. 2014. №12. С. 22-58.
4. Модернизация установки измерения сил резания на базе динамометра УДМ-600. *Шуляк Я.И., Васильев С.Г.*, Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2016. №1. С.1-12.
  5. *Малькова А.О.* Способ измерения физико-механических параметров резания на операции точения// Политехнический молодежный журнал: машиностроение и машиноведение. Электронное научно-техническое издание. 2018. №3(20). DOI: 10.18698/2541-8009-2018-3-272.

**УДК 621.914.22, 620.191.35**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ КОРРЕКТИРОВКИ ПОДАЧИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Елизавета Юрьевна Матасова

*Студент 3 курса, специалитет*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,*

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В последнее время все шире используются технологические операции изготовления отверстий и наружных цилиндрических поверхностей на фрезерных станках. При этом фреза совершает обкатку выпуклой и вогнутой цилиндрической поверхности. Ранее было показано [1], что при заданной подаче на зуб толщины срезаемого слоя при обработке цилиндрических поверхностей и плоскостей различаются. Однако в литературе не приведены данные о степени этого отличия. Так, в работах [2, 3] исследовано сечение срезаемого слоя при фрезеровании, но только для случая фрезерования плоскостей, в [4, 5] для фрезерования винтовых или ступенчатых поверхностей, а в [6] изучено остаточное сечение. Поэтому сравнение толщины срезаемого слоя для различных форм обработанных поверхностей является актуальным.

Для решения поставленной задачи в выражения, полученные в [1], были введены безразмерные коэффициенты  $K_R=R_d/R_\phi$  и  $K_B=B/R_\phi$ , где  $R_d$  – радиус кривизны обработанной поверхности,  $R_\phi$  – радиус фрезы,  $B$  – ширина фрезерования. Коэффициент  $K_R$  показывает во сколько раз радиус фрезы меньше радиуса обрабатываемой поверхности, а коэффициент  $K_B$  – это относительная ширина фрезерования.

Полагая, по экспертным оценкам, что существенным утолщением (утонением) является изменение толщины срезаемого слоя на 5% или 10%, по данным [1] были построены зависимости коэффициента  $K_R$  от коэффициента  $K_B$  при заданной подаче на зуб для случая обработки выпуклой (рис.1) и вогнутой (рис.2) поверхности.

Полученные графики позволяют определить сочетание параметров фрезерования (диаметр фрезы, радиус обработанной поверхности, ширина фрезерования), при которых происходит существенное изменение толщины срезаемого слоя по сравнению с фрезерованием плоскости с теми же параметрами. Область с несущественным утолщением (утонением) срезаемого слоя располагается выше линии зависимости  $K_R$  от  $K_B$ , а область, где изменение толщины существенно (более 5 и 10% соответственно) – под линией.

Анализ зависимостей, изображенных на рис.1 и 2 позволяет сделать следующие выводы:

1. При обработке выпуклых поверхностей происходит уменьшение максимальной толщины срезаемого слоя, а при обработки вогнутых поверхностей – увеличение.

2. При обработке и вогнутых, и выпуклых поверхностей при малых ширинах фрезерования  $B$  и радиусах фрезы меньше 4...8 радиусов обработанной поверхности происходит существенное изменение толщины срезаемого слоя.

3. Чем меньше ширина фрезерования  $B$ , диаметр фрезы и радиус обработанной поверхности, тем больше изменение толщины срезаемого слоя.

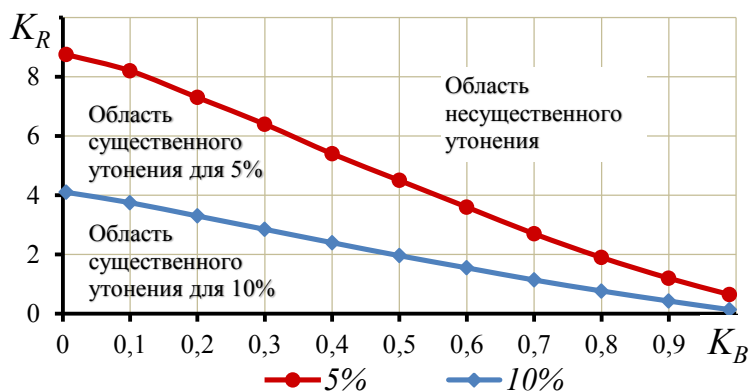


Рис. 1. Зависимость  $K_R$  от  $K_B$  ( $S_z=0,1$  мм/зуб) для выпуклой поверхности

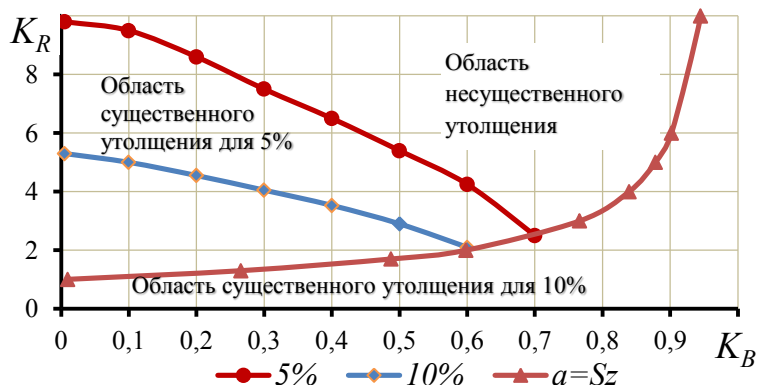


Рис. 2. Зависимость  $K_R$  от  $K_B$  ( $S_z=0,1$  мм/зуб) для вогнутой поверхности

## Литература

1. Матасова Е.Ю. Корректировка подачи при фрезеровании цилиндрических поверхностей // Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии: Материалы конференции.– М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2017. С. 50-52.
2. Потанова М. С., Виноградов Д.В. Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2015. № 6. С.42-55. Режим доступа <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/874/876/> (дата обращения 15.03.2018).
3. Мелкерис Т.В., Виноградов Д.В. Определение силы резания для криволинейного сечения срезаемого слоя // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №12. С.124-135. Режим доступа <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/820/822> (дата обращения 15.03.2018).
4. Фасхутдинов А.И., Емельянов Д.В., Блинова А.С. Влияние величины срезаемого слоя на производительность механической обработки // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-



технической конференции, Курск 24-25 сентября 2015 г. том 3. С.111-115. Режим доступа <http://regionika.ru/konf/%CC%CB-09%20%D23.pdf> (дата обращения 15.03.2018).

5. Батуев В.В. Расчет толщины срезаемого слоя при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей, имеющих ступенчатый припуск // Известия Челябинского научного центра, вып. 3 (33), 2006 С.29-33.
6. Тихонова А.А., Виноградов Д.В. Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании // Известия высших учебных заведений. Сер. Машиностроение.– 2011. №11. С.68-71.

**УДК 621.993**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ РЕЗЬБЫ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ**

Алексей Геннадьевич Митюрязев

*Студент 4 курса, специалитет*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Мальков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Обработка резьбофрезерованием является высокопроизводительной и экономичной за счет того, что одна резьбофреза может подходить под разные диаметры резьбы с одинаковым шагом. В настоящее время такая обработка получила большое распространение из-за большого применения станков с ЧПУ. Один из основных недостатков такого метода обработки является несовпадение теоретического профиля резьбы с профилем, полученным при резьбофрезеровании. Обзор научных статей показал, что данное несовпадение определяет геометрическую погрешность профиля резьбы и изучалось только для метрического профиля [1]. В работе рассматривались резьбы с несимметричным профилем, такие как упорная резьба ГОСТ 10177-82 и упорная трапецидальная резьба Buttress ГОСТ Р 51906-2015 (применяемая в нефтегазовой сфере для соединения между собой бурильных обсадных труб)

В среде Autodesk Inventor 2018 была разработана модель обработки внутренней резьбы с профилем по ГОСТ 10177-82. Исходные данные: номинальный диаметр резьбы  $D = 60$  мм, внутренний диаметр резьбы  $D_1 = 46.5$  мм, шаг резьбы  $P = 9$  мм, углы профиля  $\alpha = 30^\circ$  и  $\beta = 3^\circ$ , диаметр фрезы  $D_{фр} = 30$  мм. Данная модель (рис. 1,а) состоит из втулки с отверстием с теоретической резьбой 1 (нужна для сравнения профилей), инструментальной поверхности резьбофрезы 2.



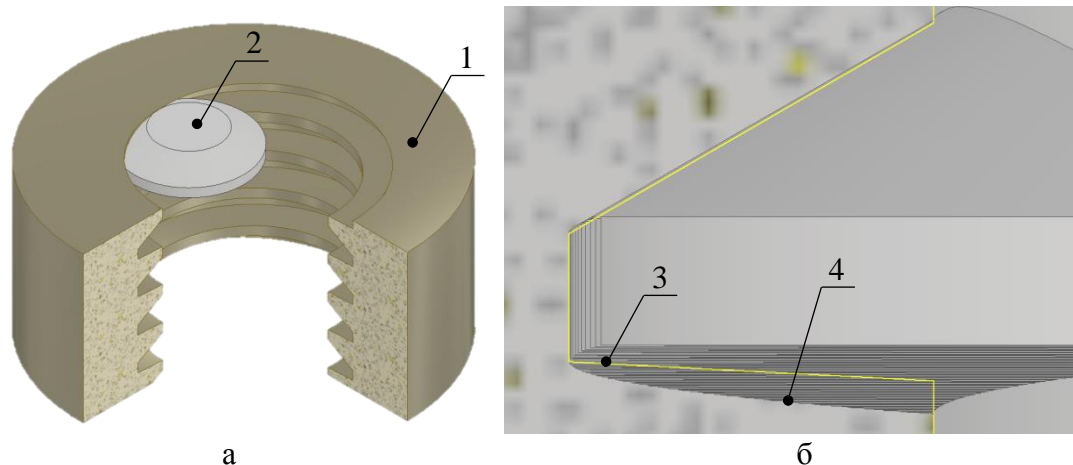


Рис. 1. Модель обработки

Моделирование упорной резьбы (рис. 1, б) представляет собой последовательное положение инструментальной поверхности резьбовой фрезы по винтовой траектории ее движения. В результате получаем огибающую семейства поверхностей положений инструмента (рис. 1, б, поз. 4), которая не совпадает с номинальным профилем упорной резьбы (рис. 1, б, поз. 3). Для принятых исходных данных отклонение реального профиля от номинального указано размерами (рис. 1, б).

Моделирование показало:

- Профиль упорной резьбы имеет различную геометрическую погрешность профиля: при угле в 3 градуса большую на порядок, чем при 30 градусах.
- При принятых исходных данных, реальная полученная резьба с учетом подреза не может быть получена в соответствии с ГОСТ 25096-82, согласно которому  $T_{D_2} = 280$  мкм, что с учетом пересчета в направлении оси инструмента меньше 650 мкм.

Таким образом, резьба с профилем имеющим малый угол наклона боковой стороны не может быть получен способом резьбофрезерования с параллельными осями резьбы инструмента. Следует в дальнейшей работе использовать кинематическую схему со скрещенными осями резьбы и инструмента для компенсации геометрической погрешности профиля нарезаемой резьбы.

### Литература:

1. Древаль А.Е., Мальков О.В., Литвиненко А.В. Точность обработки внутренних резьб комбинированным инструментом // Известия ВУЗов. Машиностроение.- 2011.- №12.- С. 44-52.
2. Мальков О.В. Исследование точности резьбы при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой. Электронный журнал "Наука и образование. Инженерное образование".- 2007.- №11. <http://old.technomag.edu.ru/doc/68985.html> (дата обращения 12.03.2018 г.)

УДК 62-1/-9

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Лев Вячеславович Митясов

*Магистр 2 года*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.Ю. Шачнев,*

*доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Цель работы: Обзор существующих конструкций из углепластика для ракетно-космической техники. Возможность применения существующих вариантов конструкций из углепластика в качестве фермы негерметичного модуля МКС (Международная Космическая Станция). Выявление недостатков существующих технологий и предложение альтернативных конструкторских и технологических решений.

На данный момент ферма негерметичного модуля изготовлена из алюминиевого сплава АМг6, который уступает по характеристикам современным композиционным материалам. Поэтому целесообразно рассмотреть вариант изготовления конструкции из композиционного материала (КМ).

Существующие конструкции из КМ не могут обеспечить заданные требования предъявленные к ферме модуля, такие как:

- легкий доступ для монтажа оборудования;
- большое количество креплений;
- технологичность изготовления креплений;

К специфике создания конструкции из КМ следует отнести одновременное проектирование конструкций из КМ и материала для нее, т. е. определение геометрии элементов, структуры материала и способов изготовления конструкции. Триада: материал–конструкция–технология неразделима. Основная особенность КМ – это возможность создания из них материалов и элементов конструкций с заданными свойствами, наиболее полно удовлетворяющими характеру и условиям работы изделий.

В работе представлены основные этапы проектирования и расчет предложенных вариантов конструкций. А так же, основные проблемы выявленные в процессе работы.

#### **Литература:**

1. *В. Н. Зимин, А. А. Смердов* «Проектирование композитных соединительных узлов в задачах оптимизации многосекционных композитных космически ферменных конструкций» // Вестник СибГАУ Том 18, № 1. С. 123–131
2. *О.А. Исева, Ю.С. Кравченко* «Сравнительный анализ основных элементов конструкции негерметичных спутников» // АО «Информационные спутниковые системы им. Ак. М.Ф. Решетнева. 2016
3. *И.М. Буланов, В.В. Воробей* «Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов» МГТУ им. Баумана. 1998
4. *Д. Ю. Багрянцев, А. В. Балановский, Ю. А. Оберемок, Д. А. Овчинников, А. В. Усольцев* «Силовая крупногабаритная конструкция для крепления исполнительных механизмов оптических систем» АО «Информационные спутниковые системы им. Ак. М.Ф. Решетнева. 2014

## УДК 621.993.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Анастасия Сергеевна Мосейчук

Студент 6 курса,

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Мальков,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В настоящее время при изготовлении цельных резьбовых фрез на заточных станках с ЧПУ используют профилирование резьбошлифовального круга при затыловании, что связано с наличием переднего, заднего углов и угла наклона винтовой стружечной канавки на инструменте. Разворот круга в двух плоскостях позволит исключить операцию правки и использовать стандартизованный резьбошлифовальный круг для всей номенклатуры изготавливаемых резьбовых фрез, тем самым снизив трудоемкость их изготовления.

Моделирование процесса затылования профиля резьбовой фрезы позволило оценить влияние параметров двух углов разворота резьбошлифовального круга на углы резьбового профиля фрезы и радиусы округления перехода боковой стороны зуба фрезы в дно канавки (рис. 1). Модель была построена в программе Autodesk Inventor 17 (учебная версия). Профилирование резьбовой фрезы основано на воспроизведении движения шлифовального круга при затыловании резьбы по профилю и по вершинам.

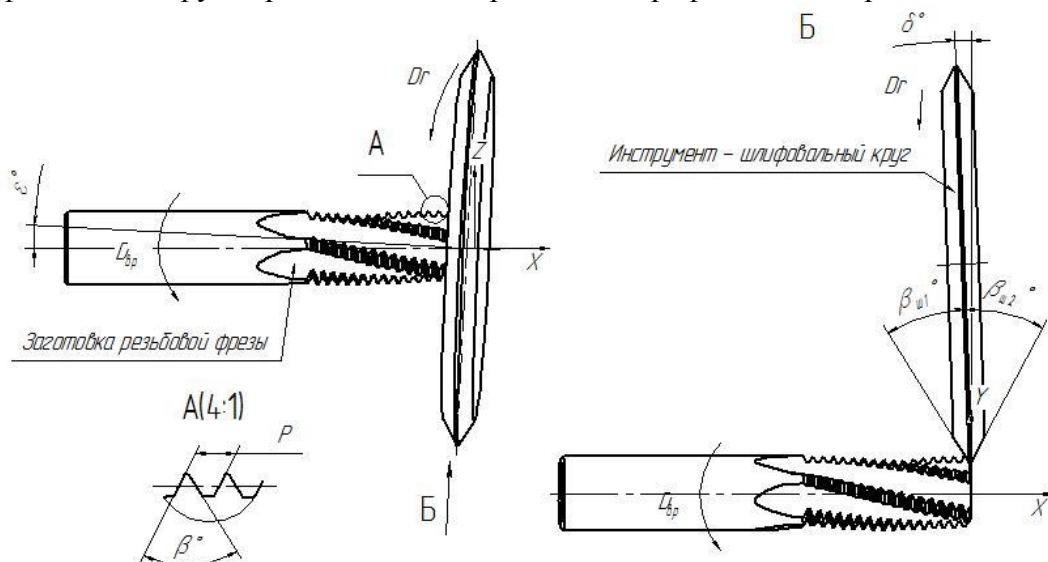


Рис. 1. Расчётная схема моделирования затылования резьбовой фрезы

С целью проверки результатов моделирования были проведены экспериментальные исследования по воспроизведению процесса обработки резьбообразующей части инструмента шлифовальным кругом, обеспечив его поворот в двух плоскостях. Изменяемые параметры: два угла поворота резьбошлифовального круга. Эксперимент проводился на универсальном резьбошлифовальном станке модели 5822 с возможностью разворота круга в одной из плоскостей. Имеющееся оборудование не позволило реализовать разворот шлифовального круга одновременно в двух плоскостях. Второй угол поворота был обеспечен заправкой круга необходимого профиля. Установлено влияние

каждого угла на исследуемые параметры в отдельности. С целью минимизации вносимых погрешностей в качестве опытного образца, воспроизводившего обрабатываемую заготовку-фрезу, использовалось металлическое лезвие, что позволило исключить влияние заднего, переднего угла и диаметра инструмента. Обработка производилась на участке максимальной жесткости крепления лезвия, чтобы избежать его изгиба. Измерения полученного профиля проводились на УИМ-21.

Результаты проведенного эксперимента подтверждают результаты моделирования: один угол наклона шлифовального круга определяет углы резбового профиля, другой - радиусы округления перехода боковой стороны зуба в дно канавки.

Таким образом, основываясь на требуемых размерах резьбы детали, на основе задачи профилирования зубьев резбовой фрезы определены углы разворота шлифовального круга стандартного профиля в двух плоскостях с целью исключения его правки.

### Литература

1. Мальков О.В. Профилирование зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/579350.html> (дата обращения 15.03.2018 г.). DOI: 10.7463/0613.0579350.
2. Мальков О.В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 3. Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/702743.html> (дата обращения 15.03.2018 г.). DOI: 10.7463/0314.0702743.

### УДК 67.05

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ РКТ МЕТОДОМ ЭЭО

Александра Викторовна Рябцева

*Магистр 1 года*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Б. Ставицкий*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Традиционные технологические процессы механической обработки на протяжении многих лет остаются неизменными, да и в обозримом будущем будут оставаться базовыми, занимая большую часть от трудоемкости производства изделий.

Развитие производства в современных условиях предполагает широкое использование накопленного опыта по развитию и применению современных технологий, которые можно применить при борьбе с образованием нежелательных заусенцев после окончательной обработки для изготовления деталей летательных аппаратов.

При изготовлении многих деталей предъявляются высокие требования к шероховатости поверхности, чистоте систем и притуплению острых кромок. Не качественно притупленные острые кромки могут привести к тому, что заусенцы, попав в механизм приводят к его негерметичности с соответствующими последствиями.

В настоящее время существует несколько способов получения отверстий.

Проанализировав существующие технологии становится понятно, что они не обеспечивают заданных характеристик деталей ЛА. Поэтому необходимо применять технологию, исключающую образование заусенцев, которая к тому же позволит улучшить качество обрабатываемой поверхности.

Наиболее широкое распространение в настоящее время получил метод размерной обработки материалов при непосредственном использовании теплового эффекта электрической энергии – электроэрозионная обработка. Этот метод впервые был предложен и развит советскими учеными Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко.

Электроэрозионная обработка основана на эффекте расплавления и испарения микропорций материала в основном под тепловым воздействием импульсов электрической энергии. Эта энергия выделяется в канале разряда между поверхностью обрабатываемой детали и электродом-инструментом, погруженным в жидкую (обычно неэлектропроводную) среду. Следующие друг за другом импульсные разряды производят выплавление и испарение микропорции материала; частицы расплавленного материала выбрасываются из зоны обработки развивающимся в канале разряда давлением и электрод-инструмент получает возможность внедряться в обрабатываемую деталь.

Получение чистовых отверстий на пересечении и в труднодоступных местах возможно с применением технологии электроэрозионной микрообработки. В современной промышленности микрообработка занимает все более важное место, в то время как развитие минитюаризации делает все больший прогресс.

Обработка малых размеров, которая до сих пор почти не удавалась, а если и удавалась, то лишь с помощью неконкурентоспособных средств и по завышенным ценам, была усовершенствована благодаря технологии, несущей в себе большие возможности.

Возможности технологии трехмерного микроэрозионного фрезерования вместе с полностью автоматизированным блоком компенсации износа электродов и устройством подачи проволоки, которое устанавливается на столе, открывает новые перспективы при обработке сложных форм, тонких перегородок, микроструктур, высококачественных поверхностей и безупречных круглых или фигурных отверстий – еще меньше, еще точнее.

## **Литература**

1. *Свириденко Д.С., Рябцева А.В.*, Высокие технологии электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра деталей летательных аппаратов. М. материалы Международной научно-практической конференции «Исторические, научные и социальные проблемы отечественной космонавтики», 2010 г.
2. *Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И.* Электрическая эрозия металлов. М. Л.: Государственное энергетическое издательство. 1944.

**УДК 621.923.6**

## **ЗАТЫЛОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВОРОТА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА**

Алексей Александрович Смирнов

*Студент 5 курса  
кафедра "Инструментальная техника и технологии"*

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Мальков О.В.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Затылованные резьбовые фрезы имеют преимущества перед острозаточенными аналогами (идентичность профиля фрезы при переточке, большие прочность и число переточек и т.д.) и изготавливаются специализированным шлифовальным кругом, который профилируется для получения резьбы требуемого профиля. Недостаток этого способа заключается в том, что для разной номенклатуры фрез требуется использовать правку круга. В работе предлагается способ получения профиля на резьбовых фрезах при затыловании с использованием шлифовального круга, повернутого под двумя углами (рисунок 1, а). Минус данного метода состоит в том, что требуется создать у круга перемычку на периферии, либо получать резьбовой профиль на фрезах на несколько проходов. Также требуется оборудование, обеспечивающее возможность поворота инструмента в двух плоскостях.

В работе поставлена задача получения профиля фрезы (рисунок 1,б) при известных параметрах круга (диаметр, угол при вершине, длина перемычки), диаметра, количества зубьев и величины падения затылка зуба фрезы. Для решения задачи разработан математический аппарат расчета и составлена программа, работающая итерационным методом.

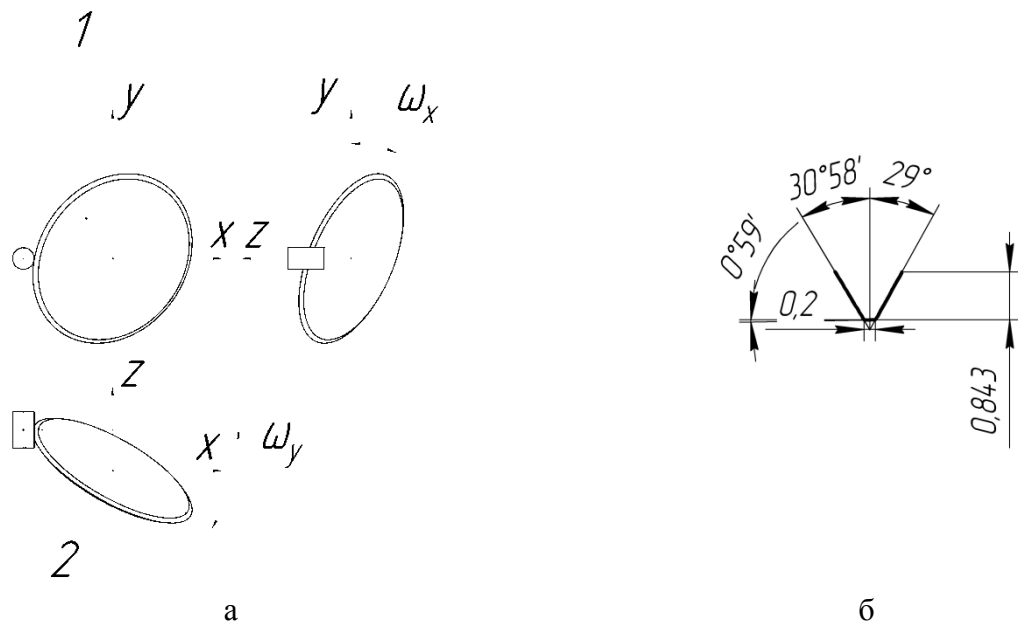


Рисунок 1. Профилирование резьбовых фрез: а – схема разворота шлифовального круга (поз.1) относительно инструмента поз.2; б – требуемый профиль зуба инструмента

Для принятых исходных данных (диаметр шлифовального круга 100 мм, ширина шлифовального круга 3 мм, угол при вершине шлифовального круга  $60^\circ$ , величина перемычки шлифовального круга 0,19 мм, диаметр фрезы 6 мм, количество зубьев фрезы 3, задний угол фрезы  $20^\circ$  получены углы разворота вокруг оси  $x - 2^\circ$ , вокруг оси  $y - 1^\circ$ .

### Литература:

1. Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.

2013. № 6. Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/579350.html> (дата обращения 12.03.2018 г.). DOI: 10.7463/0613.0579350.

2. Мальков О.В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 3. Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/702743.html> (дата обращения 12.03.2018 г.). DOI: 10.7463/0314.0702743.

УДК 621.993.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Николай Игоревич Соловьев

*Магистр 1 года,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии» Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Мальков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»*

Несмотря на то, что резбовфрезерование обладает некоторыми преимуществами, по сравнению с другими способами получения резьбы, такими как: исключение риска застревания инструмента в изделии и возможность одним инструментом обрабатывать различные диаметры, оно является слабо изученным процессом.

Анализ каталогов резбовых фрез показал, что большинство инструмента предназначено для нарезания метрической резьбы. Инструмент для разнопрофильных резбов производит ограниченное число компаний, такие, как Korloy Inc., Advent Tool, Swiss Tool и др..

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований по измерению силы резания при моделировании резбовфрезерования упорной резьбы и обработка результатов эксперимента.

На основании анализа измерений резбовфрез и каталогов производителей был разработан рабочий чертеж резца (рис. 1).



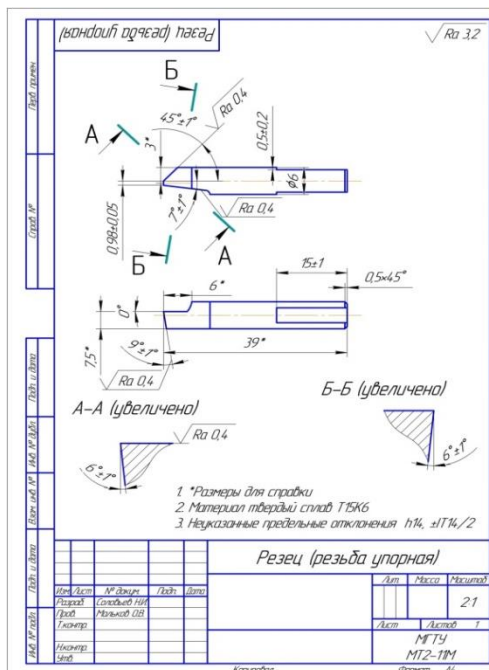


Рисунок 1 – Рабочий чертеж фрезы

В целях подготовки к дальнейшему проведению эксперимента с упорной резьбой, была произведена подготовка и проведение пробного эксперимента по резьбофрезерованию внутренней метрической резьбы. Подготовлена наладка сборной резьбовой фрезы, разработана операционная технология заточки резьбового резца и произведена его заточка на универсально-заточном станке. Проведена настройка контрольно-измерительного диагностического стенда для измерения силы резания.

Для проведения эксперимента была изготовлена заготовка из стали 40Х, в которой выполнено полуотверстие под резьбу, написаны программы для ЧПУ станка.

Данные, полученные в ходе эксперимента представляют из себя более 60 тысяч значений силы. В ходе выполнения работы была произведена предварительная обработка полученных значений сил. В дальнейшем планируется составить уравнения для перевода значения усилий  $F_x$  и  $F_y$  в значения осевой  $F_g$  и касательной  $F_t$  силы.

Выводы:

1. Изготовлена заготовка и резцы. Подготовлена оснастка для проведения эксперимента.
1. Разработан план проведения эксперимента и определены силы резания при моделировании резьбофрезерования резьбы.
3. Проведена предварительная обработка данных.

### Литература

1. Мальков О. В., Степанова М. Ю. Анализ конструктивных параметров резьбовых фрез //Наука и образование: научное издание МГТУ им. НЭ Баумана. – 2015. – №. 7.
2. Мальков О. В. Исследование точности резьбы при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой //Наука и образование: научное издание МГТУ им. НЭ Баумана. – 2007. – №. 11.
3. Мальков О.В., Головки И.М. Экспериментальное определение модели силы резания при резьбонарезании. // Инновации в машиностроении: сборник трудов Международной молодежной конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. – С. 73-77.

#### УДК 621.9.048.4

### НАЗНАЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 718 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ СТЕФАНА

Павел Александрович Сухарев

*Студент 5 курса*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: И.Б. Ставицкий,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В настоящее время сплав Инконель 718, благодаря своим механическим свойствам, находит широкое применение в авиационной промышленности, нефтехимической, газонефтяной и ряде других отраслей, где требуется коррозионноустойчивый материал, работающий в агрессивных средах при высоких температурах. Данный материал относится к аустенитным никель-хромовым жаропрочным сплавам и основными элементами в его составе является никель ( $Ni=50...55\%$ ) и хром ( $Cr=17...21\%$ ). Наряду с его положительными эксплуатационными свойствами данный сплав плохо обрабатывается резанием, поэтому все больше для его обработки применяют электрофизические методы обработки, например, электроэрозионную. Однако в настоящее время не разработаны методики по выбору рациональных режимов обработки этого материала, недостаточно исследованы его обрабатываемость этим методом.

Целью данной работы является исследование обрабатываемости сплава Инконель 718 методом электроэрозионной обработки (ЭЭО) и выбор рациональных режимов его обработки.

Исследования электроэрозионной обрабатываемости сплава Инконель 718 проводились на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала для двухфазной системы – задачи Стефана. Решение задачи позволяет выявить зависимость глубины проплавления материала от времени действия источника теплоты (импульса тока). При этом учитываются теплофизические свойства обрабатываемого материала и плотность теплового потока. Использование специальной программы Erosion для решения данной задачи, состоящей из системы дифференциальных уравнений второго порядка, дает возможность проанализировать процесс удаления материала при ЭЭО. В результате решения тепловой задачи были получены следующие результаты: зависимость глубины проплавления материала от длительности импульса теплового источника, величины минимально необходимой для осуществления процесса обработки длительности импульсов тока, максимальной и эффективной глубины проплавления материала и соответствующие им длительности импульсов тока при разных энергетических режимах.

Длительность импульсов напрямую сказывается на производительности обработки. Полученное значение минимальной длительности импульсов тока для различных тепловых потоков позволяет оценить время, при котором начинает плавиться металл и становится возможным процесс ЭЭО. Для этих же величин тепловых потоков найдены значения максимальной длительности импульса, превышение которых не приводит к дальнейшему росту глубины проплавления. Также в результате исследований были получены значения эффективной длительности импульса, соответствующие максимально

производительной обработке. На основании этих зависимостей можно оптимизировать режимы обработки и повысить производительность и стабильность процесса ЭЭО.

Кроме этого была получена зависимость шероховатости обработанной поверхности от плотности теплового потока. Как известно, поверхность после ЭЭО представляет совокупность большого количества единичных лунок, полученных в результате воздействия электрических разрядов. Данная зависимость была получена с помощью чертежно-графического редактора КОМПАС 3D-V16 в результате построения перекрытия лунок. Результат является приближенным, так как не учитывает искажения формы лунки и другие физические процессы, возникающие во время электрического разряда.

На сегодняшний день точной взаимосвязи между тепловым потоком и режимом обработки не выявлено. Поэтому для определения рациональных режимов ЭЭО предлагается установить связь между обрабатываемостью исследуемого материала и материалов, для которых в настоящее время рациональные режимы определены. Исходя из вышесказанного, материалы, имеющие схожие зависимости глубины проплавления от времени действия теплового потока (в определенном диапазоне тепловых потоков), целесообразно обрабатывать на одних и тех же режимах. В работе представлены результаты сравнения обрабатываемости сплава Инконель 718 с кобальтом, железом и медицинским сплавом (Co-61,6%, Cr-30%, Mo-6,5%).

Полученные на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала результаты можно использовать для назначения рациональных режимов ЭЭО для сплава Инконель 718 и тем самым повышать производительность его обработки.

## Литература

1. *Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П.* Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010.
2. *Золотых Б.Н., Любченко Б.М.* Инженерная методика расчета технологических параметров ЭЭО. М.: Машиностроение, 1981.
3. *Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи: пер. с англ. М.: Мир, 1983.
4. *Ставицкий И.Б.* Определение рациональных режимов электроэрозионной обработки на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала. Вестник МГТУ. Спец. выпуск «Энергетическое и транспортное машиностроение». 2011
5. *Ставицкий И.Б., Хапаев М.М.* Особенности электроэрозионной обработки композиционных поликристаллических сверхтвердых материалов на основе алмаза. Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1997. №2.
6. *Окулов Н.А.* Об одном численном методе решения одномерных задач типа Стефана // Вычислительные методы и программирование. Т.12, 2011.
7. *Калиткин Н.Н., Корякин П.В.* Численные методы. Кн.2. Методы математической физики. М.: Академия, 2013.
8. *Gupta S.C.* The Classical Stefan Problem: basic concepts, modelling and analysis. North-Holland Series in Applied Mathematics and Mechanics: JAI Press. 2003.

УДК 621.91.01, 542.67

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЩЕЛЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ТРУБ.**

Михаил Дмитриевич Храменков

*Студент 6 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Н.Н. Зубков,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Работа посвящена оптимизации процесса деформирующего резания (ДР) при получении щелевых полимерных регулируемых фильтрующих труб.

Получение фильтрующих структур с шириной щелей от 10 до 500 мкм на полимерных материалах (полиэтилен, полипропилен, фторопласт, ПЭТ и др.) возможно с применением ДР при сквозном прорезании стенки трубы на части ее периметра [1]. Обработка вращающимся инструментом для ДР по токарно-фрезерной схеме при согласованном вращении стандартной трубной заготовки и инструментального блока позволяет получать ряды сквозных щелей, как параллельные оси трубы, так и винтовые. Трубы с винтовыми рядами сквозных щелей имеют пониженную осевую жесткость и могут значительно деформироваться, что позволяет настраивать ширину щелей на заданную тонкость фильтрации [2].

Актуальность работы состоит в том, что в ней оценивается точность расчетных зависимостей для получения щелевых фильтрующих труб с заданными геометрическими параметрами, такими как угол наклона винтовых рядов щелей и их оптимальное количество для заданного диаметра трубы, а также ширина и длина щелевого промежутка. Данные параметры существенно влияют на гидравлические характеристики и тонкость фильтрации.

В работе предложены формулы для расчета оптимального количества винтовых рядов щелей и длины прорезаемых щелей в зависимости от схемы резания. Их использование позволило получить образцы труб с геометрическими параметрами, близкими к ожидаемым, что показало пригодность данных зависимостей для расчёта требуемых параметров труб.

Проведен ряд экспериментов по получению щелевых фильтрующих труб заданных параметров с целью оценки точности расчета угла наклона винтовых рядов щелей и ширины фильтрующего зазора. По результатам экспериментов предложены уточняющие коэффициенты, использование которых позволяет получать фильтрующие трубы с геометрическими параметрами, близкими к требуемым.

Проведен анализ экспериментальных данных, по результатам которого был выявлен ряд проблем и технологических особенностей, возникающих при обработке.

Предложены сочетания технологических параметров, обеспечивающие стабильность получения щелевой структуры, что проверено при изготовлении образцов фильтрующих труб.

Предложена схема синхронизации частот вращения трубной заготовки и резового блока.

**Выводы:**

- не все расчетные зависимости описывают реально получаемые геометрические параметры на фильтрующих трубах с достаточной степенью точности,

- длина сквозных щелей при встречном и попутном ДР при идентичных параметрах обработки имеет различную величину, что имеет значение для определения оптимального количества рядов щелей,
- направление угла подъема рядов сквозных щелей влияет на стабильность ДР; правое направление винтовых рядов щелей обеспечивает более стабильную структуру фильтрующих щелей,
- установка получения фильтрующих труб требует обеспечения точной синхронизации и управляемой рассинхронизации частот вращения трубной заготовки и резцового блока,
- пластичность некоторых полимеров (например, ПВХ) недостаточна для стабильного прорезания сквозных щелей методом ДР; подогрев трубной заготовки на несколько десятков градусов устраняет проблему нестабильности процесса ДР.

### Литература

1. *Зубков Н.Н., Слепцов А.Д.* Получение микросеток и проницаемых щелевых труб механической обработкой. // Известия вузов. Машиностроение. - 2007. – №3. – С.56-60.
2. *Зубков Н.Н., Слепцов А.Д.* Управление шириной щелевого зазора фильтрующей структуры, получаемой методом деформирующего резания // Электронное научно-техническое издание: наука и образование. 2011. №5. URL. <http://technomag.edu.ru/doc/182415.html> (дата обращения 03.05.2011).

### УДК 621.914.22

## МОДЕЛЬ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФРЕЗОЙ С ВОЛНИСТОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

Сергей Дмитриевич Христоролюбов

*Студент 6 курса*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,*

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В настоящее время на машиностроительных предприятиях достаточно широко применяют фрезы с волнистой режущей кромкой [1], что позволяет разделять стружку и снижать силы резания. Однако в литературе представлены расчеты силы резания только для прямозубых фрез с волнистой режущей кромкой. Поэтому разработка модели срезаемого слоя для таких фрез, позволяющей определять силу резания, действующую на фрезу, является актуальной задачей.

Модель срезаемого (рис.1,а) слоя выполнена в графическом пакете Autodesk Inventor путем последовательного вычитания из 3D-модели обрабатываемой заготовки объем, полученный вращением волнистой режущей кромки вокруг вертикальной оси.

Каждый следующий профиль смещен относительно предыдущего на величину  $S_z/z$  в горизонтальном направлении и на величину  $P/z$  в вертикальном, где  $S_z$ ,  $z$ ,  $P$  – подача на зуб, количество зубьев фрезы и шаг волны режущей кромки соответственно.

Для получения сечения срезаемого слоя модель срезаемого слоя секли винтовой поверхностью (рис.1,б), имитирующей переднюю поверхность фрезы. Угол подъема винтовой поверхности соответствует углу наклона винтового зуба фрезы. Измеряя площадь каждого сечения и его ширину можно о выражению  $P = K_{c11} \frac{A}{a_{cp}}$  [4] рассчитать окружную силу резания ( $K_{c11}$  – удельная сила резания,  $A$  – площадь сечения срезаемого слоя,  $a_{cp} = \frac{A}{b}$  – средняя толщина срезаемого слоя,  $b$  – ширина сечения срезаемого слоя).

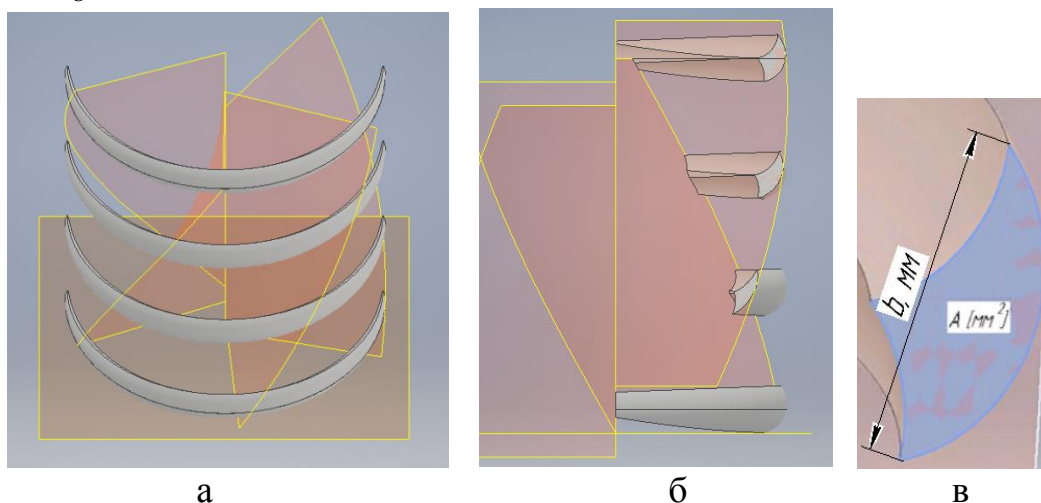


Рис. 1. Модель срезаемого слоя (а), сечение винтовой поверхностью (в), сечение слоя, срезаемого одной волной (в)

Модель позволяет поворачивать винтовую секущую поверхность, имитируя вращение фрезы и рассчитывать силу резания в каждый момент времени.

Вывод.

Разработанная 3D-модель дает возможность определить силу резания, действующую на каждый зуб фрезы с волнистой режущей кромкой и на всю фрезу. Это позволит исследовать зависимости неравномерности фрезерования от глубин резания, ширины фрезерования, угла подъема винтового зуба, шага и амплитуды волны режущей кромки.

## Литература

1. *Потапова М. С., Виноградов Д.В.* Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №11. С.21-33  
Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/718/720> (дата обращения 15.03.2018)
2. *Мелкерис Т.В., Виноградов Д.В.* Определение силы резания для криволинейного сечения срезаемого слоя // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №12. С.124-135  
Режим доступа <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/820/822> (дата обращения 15.03.2018).
3. *Потапова М. С., Виноградов Д.В.* Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2015. № 6. С.42-55. Режим доступа <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/874/876/> (дата обращения 15.03.2018).

4. Корниевич М.А., Фельдштейн Е.Э., Яцерицын П.И. Теория резания: Учебник для вузов. Изд. 2-е, испр., доп. серия: Техническое образование. Новое знание, 2007, 512 с.

## УДК 621.91

### КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Полина Юрьевна Щёлокова

*Магистр 2 года*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Древаль,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

Энергопотребление – один критериев оценки эффективности процесса резания, являющийся комплексным показателем, зависящим от большого числа факторов: режимов резания, параметров обрабатываемого материала, геометрии режущего инструмента и др. Вопрос энергопотребления является актуальным, и на данный имеется ряд работ, посвященных исследованию энергопотребления процесса резания [7,8,9].

Целью данной работы является качественная оценка влияния инструментального материала на величину энергопотребления процесса резьбонарезания метчиками М12 с шагом  $P=1,75$  мм, изготовленными в соответствии с ГОСТ 3266, ГОСТ 3449, из различных марок быстрорежущей стали: Р18, Р6М3, Р9К5, Р9Ф5, Р10К5Ф5, Р12, Р6М5, Р9К10, Р14Ф4, Р18К5Ф2, Р18Ф2. В качестве исходных данных взяты результаты экспериментальных исследований, опубликованные в [4].

Анализ экспериментальных данных выявил явную зависимость стойкости метчиков от марки быстрорежущей стали при условии эксплуатации инструмента до достижения величины износа по задней поверхности последнего режущего зуба метчика равной  $h_3=1$  мм:

$$T = \frac{A \cdot v^{b-1}}{e^{c \cdot v}}, \quad (1)$$

Где  $T$  - стойкость метчика, мин;  $A$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, полученные эмпирическим путем для каждой марки быстрорежущей стали и представленные в работе [4];  $v$  – скорость резания, м/с.

Для оценки влияния марки инструментального материала на величину энергопотребления было принято допущение, что момент резьбонарезания не зависит от марки быстрорежущей стали и не зависит от величины износа метчика.

Величина энергопотребления процесса резьбонарезания  $E_{рез}$ , кВт·ч, в таком случае вычисляется по формуле:

$$E_{рез} = \frac{N_{рез} \cdot t}{60} = \frac{N_{рез} \cdot T}{60} = \frac{M_{рез} \cdot 1000 \cdot v \cdot T}{9570 \cdot \pi \cdot d \cdot 60} = const \cdot v \cdot T, \quad (2)$$

Где  $N_{рез}$  – мощность процесса резьбонарезания, кВт;  $M_{рез}$  – момент резьбонарезания, Н·м;  $n$  - частота вращения, об/мин;  $d$  – наружный диаметр метчика, мм;  $t$  – длительность работы инструмента, мин.

В результате работы выявлено, что энергопотребление при прочих равных условиях зависит от марки быстрорежущей стали метчика – рис. 1:

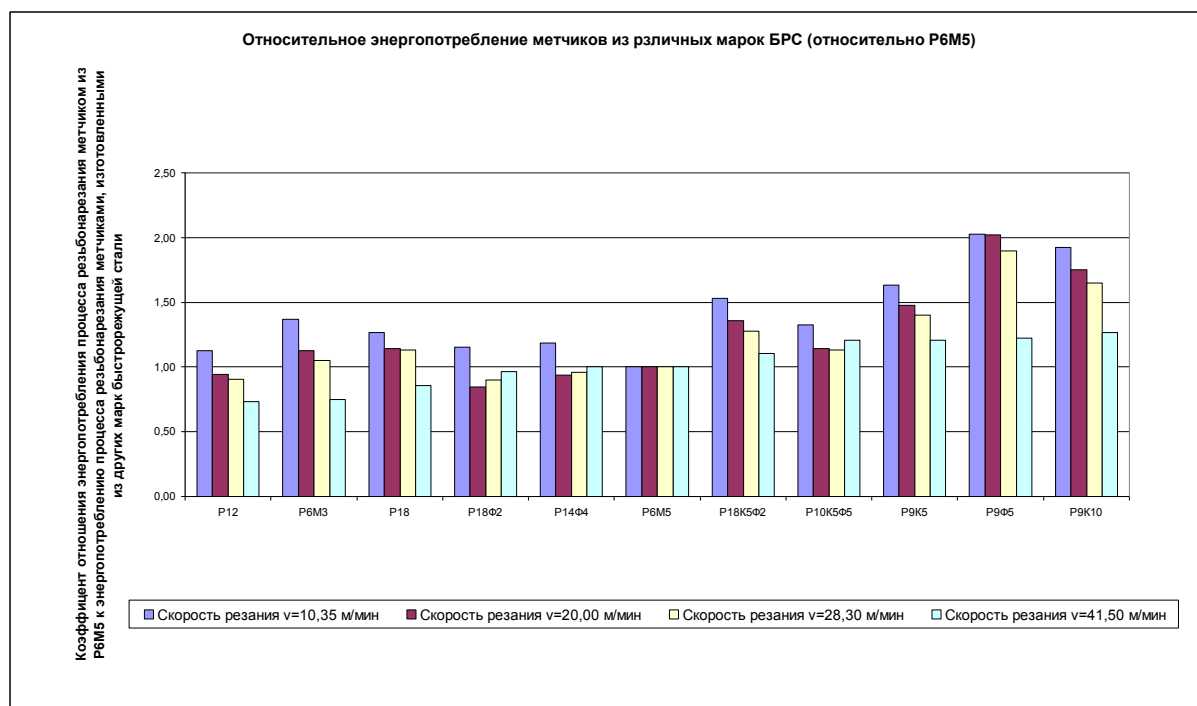


Рис. 1. Величина относительного энергопотребления процесса резьбонарезания метчиками, изготовленными из различных марок быстрорежущей стали (по отношению к энергопотреблению процесса резьбонарезания метчиком из P6M5).

Изменение относительного энергопотребления процесса резьбонарезания (относительно энергопотребления при нарезании резьбы метчиком из P6M5) при использовании метчиков из различных марок быстрорежущей стали (БРС) составляет:

- от 0% до плюс 103 % при  $v_{рез} = 10,35$  м/мин;
- от минус 15,43% до плюс 102% при  $v_{рез} = 20,00$  м/мин;
- от минус 10% до плюс 90% при  $v_{рез} = 28,30$  м/мин;
- от минус 26% до плюс 26% при  $v_{рез} = 41,5$  м/мин;

Из приведенных данных следует, что относительное энергопотребление (в данном случае отнесенное к энергопотреблению метчика из P6M5) при работе метчиками из различных марок БРС до достижения величины износа по задней поверхности последнего режущего зуба  $h_3 = 1$  мм при прочих равных условиях резания различно и, соответственно, инструментальный материал непосредственно влияет на энергопотребление процесса резания и это необходимо учитывать при выборе инструмента.

### Литература

1. ГОСТ 3266-81 Метчики машинные и ручные. Конструкция и размеры (с Изменением N 1).
2. ГОСТ 3449-84 Метчики. Технические условия (с Изменением N 1).
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостроит. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1985. - 304 с.
4. Грановский Г.И., Жихарев Е.В. Стойкостные исследования машинных метчиков из различных марок быстрорежущей стали // Резание и инструмент. Труды МВТУ №178: сборник статей. 1974.



5. Древаль А.Е., Литвиненко А.В., Критерии оптимального износа машинных метчиков // Известия высших учебных заведений: Технология и технологические машины. 2012. №1
6. Древаль А.Е., Литвиненко А.В., Фомирование отказов метчиков // Наука и образование. 2012. №3
7. Малькова Л.Д., Влияние рассеивания твердости поковок на энергоемкость механической обработки // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2015 .№ 11
8. Малькова Л.Д., Оценка энергопотребления при механической обработке плоскостей различными способами фрезерования // Инженерный журнал: наука и инновации 2016. №12
9. Малькова Л.Д., Энергосбережение при проектировании технологической операции токарной обработки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2012.- Спец.выпуск "Работы студентов и молодых ученых МГТУ им.Н.Э. Баумана" .- С. 43 – 49

### **Секция III**

#### **Технологии машиностроения**

Председатель:

**Васильев Александр Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-3

Ученый секретарь:

**Зайцев Александр Вячеславович**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-3

**УДК 621.81**

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Тимур Маратович Гайнутдинов

*Аспирант 1 года*

*кафедра «Технологии машиностроения»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.М. Базров,*

*доктор технических наук, лауреат Ленинской премии, заведующий кафедрой «Теория модульной технологии» в ИМАШ РАН*

При разработке маршрутного технологического процесса изготовления детали одной из важнейших задач является выбор технологических баз, что в значительной степени влияет на эффективность технологического процесса (ТП).

Технологическая база - база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте [1].

При выборе технологических баз обычно используют один из двух принципов: *принцип совмещения баз* или *принцип единства баз* [2].

*Принцип совмещения баз* состоит в том, что в качестве технологической базы выбирают конструкторскую базу, от которой задан получаемый размер. Несовпадение технологической базы с конструкторской приводит к накопленной погрешности на получаемом размере [2].

*Принцип единства баз* заключается в том, что в качестве технологических баз на различных операциях ТП используют одни и те же поверхности детали. Применение принципа единства баз позволяет исключить появление погрешностей обработки, связанных со сменой баз [2].

Также существует ряд других принципов:

*Принцип кратчайшей размерной цепи.* Согласно этому принципу в качестве технологической базы следует использовать те поверхности, которые связаны с обрабатываемой кратчайшей размерной связью [3].

*Принцип искусственных баз.* Согласно этому принципу при отсутствии у заготовки надежных технологических баз, можно создавать искусственные базы, изменив при необходимости конструкцию заготовки (технологические и центровые отверстия, бобышки, приливы и др.) [3].

*Принцип относительного расположения поверхностей.* Для операций, на которых обеспечиваются требования по точности относительного взаимного расположения поверхностей, в качестве технологических баз выбираются поверхности, связанные с обрабатываемой требованиями по относительному расположению [3].

*Принцип простоты.* Выбранные технологические базы должны обеспечивать простую и надежную конструкцию приспособления, удобство и быстроту установки и снятия обрабатываемой детали [3].

Недостатки существующих принципов:

*Принцип совмещения баз* – недостатком является то, что использование этого принципа снижает эффективность ТП, вследствие увеличения количества установок заготовки при обработке.

Недостаток *принципа единства баз* – возможность несовпадения конструкторских и технологических баз, появления трехзвенной размерной цепи, которая приведёт к необходимости ужесточения допусков на получаемые размеры.

Главный недостаток этих методов выбора технологических баз заключается в том, что определенные поверхности, призванные выполнять служебную функцию совместно, могут быть обработаны в разных операциях, тем самым будет происходить накопление погрешностей относительного положения поверхностей и возможен ввод дополнительных операций для их уменьшения. Особенно это проявляется при разработке ТП сложных деталей с большим числом поверхностей.

## Литература

1. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении.
2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения; Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.; ил.
3. Балихин В.В. Быков В.В. Иванов Н.Ю. Технология машиностроения; Учебное пособие по выполнению курсового проекта для бакалавров специальности 150400, для студентов специальности 150405, Темплан, 2010. – 220 с.

## УДК 621.01

### ПОДГОТОВКА ПАРАФИНО-ВОСКОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОСКОВЫХ МЕЛКОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ

Евгений Сергеевич Гетта

*Студент 2 курса, специалитет  
кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»  
Московский Политехнический Университет*

*Научный руководитель: И.В. Бухтеева,  
Кандидат технических наук, кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»*

Целью проводимой работы является автоматизированное производство восковых мелков на предприятии «Гамма» по самым доступным ценам, которые позволили бы творить любому художнику, невзирая на его материальное положение.

Восковые мелки изготавливают из смеси парафинового воска, имеющего высокие показатели по истиранию, оставляющего жирный цвет на бумаге, в него добавляется

красящий пигмент. Предполагается производить на «Гамме» восковые мелки наборами «Умная мама» по 12, 16 и 24 штуки (объемом по 150000, 50000 и 30000 наборов в год), масляную пастель наборами по 12, 18, 24 и 36 штук (объемом по 53539, 21043, 19431 и 10000 наборов в год).

В начале процесса парафиновый воск расплавляется в плавильном устройстве и закачивается по трубопроводу в подогреваемую дежу (объемом около 5 литров) на позиции загрузки, где в смесь с помощью дозатора добавляются красящие пигменты и ингредиенты, уменьшающие ломкость готового мелка и предотвращающие прилипание воска к форме. Так как парафин не смешивается с водой или водными растворами, пигменты подаются в смесь в виде пудры. Все составляющие не токсичны. Разработан алгоритм последовательности получения мелков различных цветов, и предложена конструкция дозатора.

Дозатор оборудуется электрическим приводом, что обеспечивает точное взвешивание и автоматическую подачу пигмента в дежу на конвейере или сразу в смеситель. Задвижка, перекрывающая отверстие дозатора, управляется пневмоцилиндром. Для работы такого дозатора необходимо питание от сети – 220 В, и сжатый воздух.

В нем используется тензометрический датчик, обеспечивающий высокую точность измерения количества пигмента. Его основой является тензорезистор – тонкая нить из сплава высокой чувствительности. При взвешивании нить растягивается или сжимается, что вызывает изменение сопротивления. Этот сигнал и является основой для расчета подаваемой массы. Тензодатчик с помощью специального кабеля соединяется с индикационным блоком. Последний включает в себя плату памяти, преобразователь, микроконтроллер и индикационный экран.

Полученная смесь расплавленного парафина размешивается в деже на диссольвере в течение 45 минут, после чего заливается в формочки ротационной формовочной машины для получения мелков.

В нашем проекте мелки извлекаются из форм с помощью робота с вакуумным захватом и доставляются в приемный лоток этикетировочной машины. Этикетировочная машина с помощью прижимного ролика приклеивает этикетку на каждый мелок при обороте этикетки, смазанной клеем стороной, вокруг мелка.

Мелки из этикетировочной машины, после контроля их размеров и определения возможных дефектов с помощью подобранного оптического датчика, сыпаются в лотки и подаются на сортировочный конвейер. Если мелок в процессе изготовления ломается или на нем отклеивается этикетка, датчик реагирует и автоматически удаляет бракованный мелок из годной партии.

Разработанная автоматизированная линия позволит освободить значительное количество ручного труда, скомплектована в основном из отечественного оборудования и обеспечит требуемую экономическую эффективность для заданной программы выпуска.

## Литература

- 1) *Клюев В.В.* Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. М.: Машиностроение, 2012. 624 с.
- 2) *Аббясов В.М., Бухтеева И.В., Елхов П.Е.* Предварительный выбор и оптимизация надежности автоматического сборочного оборудования // "Сборка в машиностроении, приборостроении". 2009. №5. С.28-33.

**УДК 621.9.042**

## **ВЫБОР МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Илья Сергеевич Греков

*Студент 4 курса, специалист*

*кафедра «Технологии машиностроения»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Гончаров,*

*аспирант кафедры «Технологии машиностроения»*

Финишная обработка мелкогабаритных винтовых поверхностей может осуществляться следующими способами: абразивная обработка, обработка методами поверхностного пластического деформирования (ППД), химическими и электрохимическими методами.

К методам абразивной обработки относятся [1]:

### 1. Шлифование профилированными абразивными кругами.

Данный метод позволяет повысить одновременно и качество, и точность винтовой поверхности. Однако сложность изготовления фасонных абразивных кругов, соответствующих мелкогабаритному профилю винтовых поверхностей, в совокупности с необходимостью использования специального оборудования со сложной кинематикой не позволяет назвать этот метод экономически целесообразным.

### 2. Шлифование абразивными лентами.

Производительный и технологичный метод, позволяющий значительно повысить качество винтовой поверхности, не требующий специального оборудования. Тем не менее, у винтовых поверхностей малых габаритов лента будет в большей степени обрабатывать вершины, оставляя менее обработанными впадины, что не позволит обеспечить требуемую точность винтовой поверхности.

### 3. Обработка свободным абразивом (буксирная галтовка).

Особенностью метода является его универсальность, возможность равномерного снятия припуска с сохранением точности поверхности. Имеется ограничение по длине обрабатываемой заготовки, обусловленное необходимостью полного погружения в абразив.

К обработке методами поверхностного пластического деформирования (ППД) можно отнести метод обкатки роликом винтовой поверхности. Метод позволяет обрабатывать винтовые поверхности любого сечения и длины, но отличается меньшей производительностью и более жесткими требованиями к исходному качеству поверхности в сравнении с методами абразивной обработки.

В некоторых случаях для повышения качества поверхности используются методы химического или электрохимического полирования. Химическое полирование может применяться после абразивной обработки или обработки ППД для получения минимальной величины шероховатости винтовой поверхности. В свою очередь электрохимическое полирование может производиться непосредственно после лезвийной обработки, удаляя при этом значительный припуск.

В качестве наиболее прогрессивного метода, позволяющего обеспечить заданные требования качества, выбран метод буксирной (роторной) галтовки.

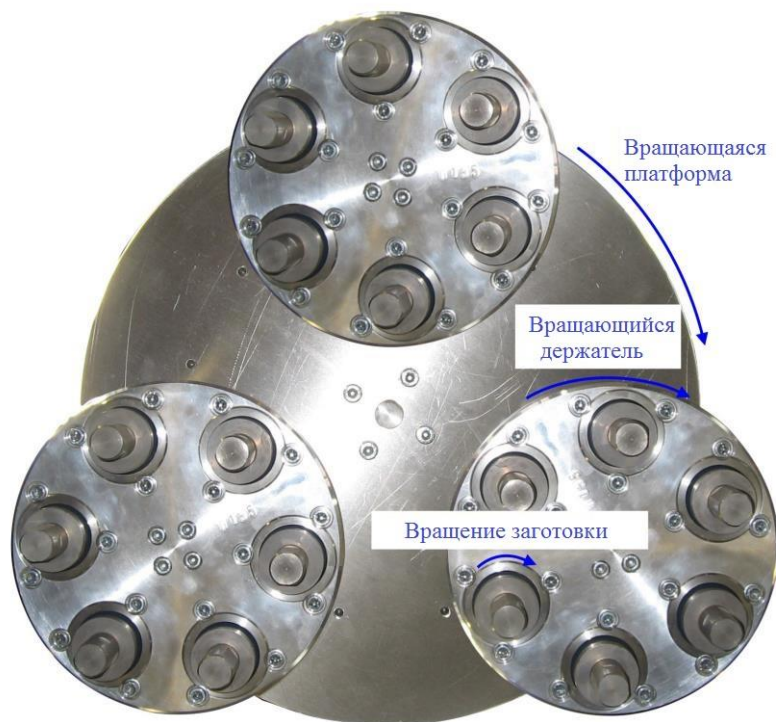


Рис. 1. Установка с обозначением направлений вращения её элементов

На рисунке изображены вращающиеся заготовки, установленные на вращающийся держатель, который, в свою очередь, закреплен на вращающейся платформе. Таким образом обеспечивается обработка нескольких деталей одновременно, при этом вращающиеся движения делают возможным равномерное снятие припуска со всей поверхности заготовки.

### Литература

1. Гончаров А.А., Васильев А.С., Гемба И.Н. Современные методы обработки винтовых поверхностей роторов винтовых насосов. // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2017. № 1. С. 202–208.

УДК 621.9.042

## ВЫБОР МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАРЕЗОВ В СТВОЛАХ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Василисса Владимировна Зинова

Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии машиностроения»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Л.В. Савельева,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Ствол – основная деталь стрелкового оружия. В процессе работы ствол испытывает термические и динамические нагрузки. Он служит камерой для превращения потенциальной энергии порохового заряда в кинетическую энергию пули. Кроме этого ствол обеспечивает строго ориентированное в пространстве положение вектора начальной скорости снаряда и может придавать снаряду вращательное движение, обеспечивающее ему гироскопическую устойчивость в полете. Для этого в стволах формуют винтообразные нарезы.

Заготовка для ствола, как правило, не имеет отверстия. Его формируют методами глубокого сверления. Затем внутреннюю полость подвергают развертке для повышения точностных и качественных характеристик поверхности. После этого формируют нарезы.

Существует пять основных методов изготовления нарезов в стволах стрелкового оружия:

1. радиальная ковка;
2. шпалерное строгание;
3. протягивание;
4. электрохимическая обработка;
5. дорнование

Радиальная ковка является распространенным методом за рубежом. Например, ее использует итальянская компания Бернардели, занимающаяся производством винтовок. Заготовка обжимается со всех сторон часто в холодном состоянии вокруг специальной оправки. Недостатком метода является высокая стоимость оборудования и, если ковка производится в горячем состоянии, низкая точность обработанной поверхности – сотые доли миллиметра. Но данный метод высокопроизводителен, изготовление одного ствола калибром 12,7 мм занимает приблизительно 10 минут.

Для строгания нарезков применяют специальный инструмент – шпалер. Он совершает поступательное движение относительно канала ствола и может двигаться в радиальном направлении. Винтообразность нарезков получается за счет вращения заготовки. Метод является наиболее точным из вышеназванных, но обладает крайне низкой производительностью. Аналогичный ствол будет изготавливаться порядка 3 часов. Тем не менее, данный метод использует недавно открывшийся российский завод «Промтехнологии», объектом производства которого являются высокоточные винтовки.

Протягивание является наиболее производительным методом. Однако оно неприменимо для изготовления нарезков в длинных стволах, например, стволах винтовок. Причина – сложность обеспечения жесткости протяжки. Поэтому данный способ применяется при производстве короткоствольного стрелкового оружия. Протягивание применяют в основном в США в фирме Ойл-Ер.

Электрохимическая обработка является низкопроизводительным методом, однако при его использовании не происходит износа инструмента. Во время обработки на инструмент (катод) и ствол подается напряжение. Заготовка всегда остается неподвижной. Инструмент, имеющий форму изготавливаемых нарезков, может быть как неподвижным, так и совершать вращательно-поступательное движение. В первом случае его длина должна быть больше длины заготовки. Данный метод используется концерном «Калашников».

При дорновании твердосплавный инструмент дорн выдавливает наружу металл, двигаясь по каналу ствола. Недостаток метода, в отличие от лезвийных методов обработки – необходимость снятия остаточных напряжений после обработки. Дорнование рекомендуется применять при большом количестве нарезков. Дорнование также использует российский завод «Промтехнологии».

Ставится задача сравнить полученные методы между собой в условиях мелкосерийного производства. Кроме этого, необходимо учесть характеристики детали, которую необходимо изготовить: габаритные размеры, технические требования, материал.



Для примера выбирается ствол пистолета М1911, так как чертежи данного оружия представлены в свободном доступе и поэтому их анализ не затруднен. Данный пистолет не является высокоточным оружием, в связи с этим применение низкопроизводительного шпалерного строгания, обеспечивающего точность нарезки ствола в пределах 0,001 мм перенатабелен.

Известно, что в условиях мелкосерийного производства предпочтение следует отдавать оборудованию с ЧПУ. Специальное оборудование и инструмент, как правило, экономически неэффективны. Специальными инструментами являются дорн, протяжка и катод при электрохимическом нарезании.

Таким образом, наиболее рациональным в условиях мелкосерийного производства является радиальная ковка.

### **Литература**

1. Саукум С. Суть оружия/Одесса: Печатный дом, 2009. -214 с.
2. Крекнин Л.Т. Производство автоматического оружия Ч1 –Производство стволов /Ижевск: ИжГУ, 1998. -236 с.
3. Туктанов А.Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для вузов/М.: Машиностроение, 2007. 373 с.
4. Савельева Л.В. Установка заготовок низкой жесткости для технологического воздействия // Главный механик. 2014. № 6. С. 34-39.
5. Комков А.Е., Миронова М.О., Соколова О.В. Повышение качества осеботонкостенных труб, полученных методом холодной периодической прокатки // Будущее машиностроения России. Сборник докладов Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. 2015. С. 349-350.

### **УДК 621.923.9**

## **СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСОВ ПЛУНЖЕРНЫХ АВИАЦИОННЫХ НАСОСОВ**

Дмитрий Сергеевич Ненюк, Даниил Олегович Зотин

*Магистры 2 года*

*кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»*

*Московский Политехнический Университет*

*Научный руководитель: М.В. Вартанов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»*

Интерес к промышленным роботам увеличивается в связи с попытками их применения в новых областях. Новой областью применения промышленных роботов является механическая обработка. Роботы имеют ряд технологических преимуществ в сравнении со станками с ЧПУ:

более низкая стоимость в сравнении со станками с ЧПУ;

более низкие эксплуатационные затраты;

большие кинематические возможности;

скорость перемещений;

большие возможности переналадки, что делает возможным применение роботов в многономенклатурном производстве.

Известен также ряд технологических недостатков роботов:

недостаточная жесткость;

недостаточная точность позиционирования.

Точная обработка стальных деталей требует тщательного удаления заусенцев. Технологические возможности роботов очень хорошо подходят для данной операции. Производственники часто рассматривают роботов только как средство сокращения трудоемкости. Однако роботы способны обеспечить повышение производительности и качества обработки. Универсальность роботов связана с двумя факторами: большей гибкостью в сравнении со станками с ЧПУ и более высокой надежностью. Опыт промышленного применения роботов подтверждает, что они имеют более высокий коэффициент использования по времени. Роботы гораздо легче адаптируются к изменению номенклатуры деталей и видам операций, чем станки с ЧПУ. При этом быстрее окупаются капитальные вложения, ниже эксплуатационные расходы, выше гибкость производства. Это основные причины, по которым производители все чаще начинают задумываться о применении роботов вместо станков с ЧПУ.

#### Общие описание технологического задания

В условиях многономенклатурного производства слесарные и отделочные операции в большинстве случаев выполняются вручную. При производстве гидроагрегатов весь объем операции по снятию заусенцев, полировке и доводке выполняется вручную. В настоящее время предприятие рассматривает возможные варианты автоматизации данного вида работ. Например, при слесарной обработке корпуса плунжерного авиационного насоса (рис. ) трудоемкость составляет от 4,5 до 6 нормо-часов. Предприятие рассматривает возможность роботизации данных операций. Для решения поставленной задачи была предложено, следующий роботизированный технологический комплекс (РТК).

Основание для разработки комплекса

Исходные данные:

Производительность	4000 шт/год
Количество номенклатурных позиций	20 шт.
Минимальный размер партии	3-5 шт.
Максимальный вес детали	7 кг.
Усилия резания при текущей технологии	3 кг.

#### Общее описание роботизированного комплекса

Назначение РТК

Роботизированный технологический комплекс (далее РТК) разработан для обеспечения автоматического цикла выполнения слесарных операций, включая:

снятие заусенцев, притупление острых кромок наружных и внутренних фасок и скруглений

согласно ОСТ 1 0022-80 (Наружные кромки от 0,1 до 0,4; внутренние кромки от 0,2 до 0,8 мм)

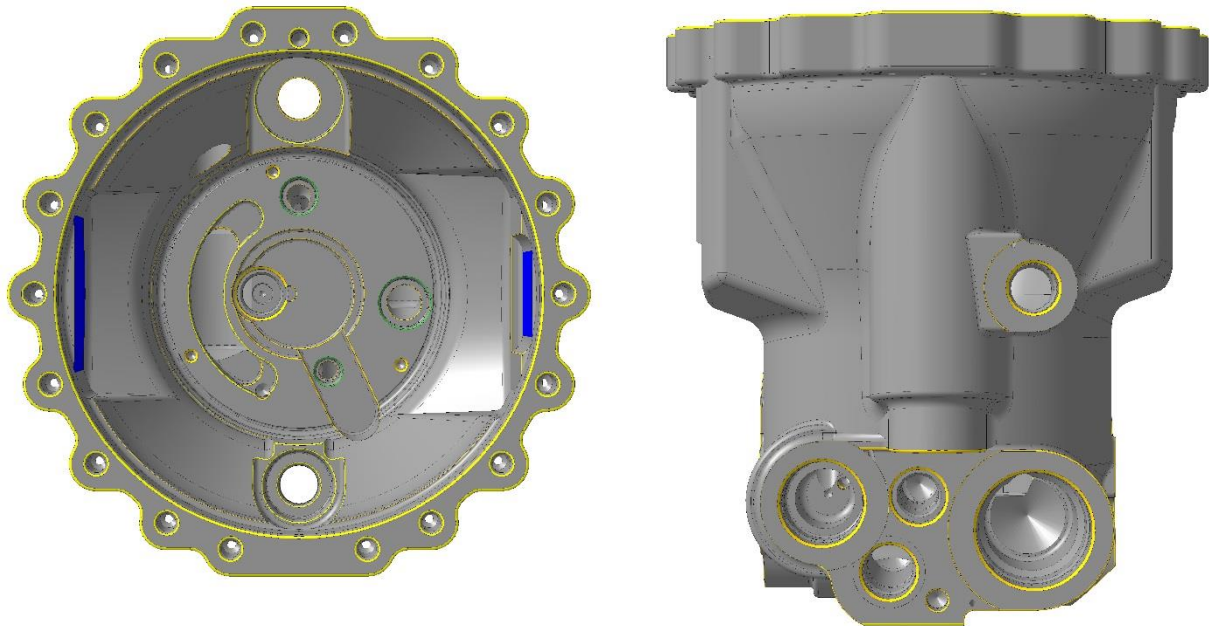
заправка и полировка  $R0,5^{+0,5}$  мм в отверстиях и на дне корпуса  $\varnothing 20H7$ ,  $\varnothing 14H7$ ,  $\varnothing 10H9$ ;

зачистка плоских поверхностей внутреннего прямоугольного кармана до шероховатости  $Ra\ 0,63$  после выполнения токарных, фрезерных, сверлильных и других операций.

РТК предназначен для автоматизированной слесарной обработки номенклатуры деталей типа «Корпус гидронасоса», «Корпус гидромотора», «Корпус привода-генератора» согласно технического задания. РТК позволяет выполнять обработку деталей из и алюминиевых сплавов.

Используемый инструмент и кинематика оборудования позволяют выполнять обработку как с внутренним расположением поверхностей (рис. ) (снятие внутренних заусенцев на входе/выходе отверстий, снятие заусенцев в пересекающихся отверстиях и т.п.), так и с

наружным (рис. ) (снятие заусенцев на наружной поверхности деталей, снятие заусенцев с кромок, с плоских поверхностей и т.п.).



а) б)  
Рисунок 1. Вид корпуса плунжерного насоса: а) внутреннее расположение поверхностей  
б) внешнее расположение поверхностей

Построение физической модели в процессе обработки.

1.Прорабатывается точная 3D модель изделия.

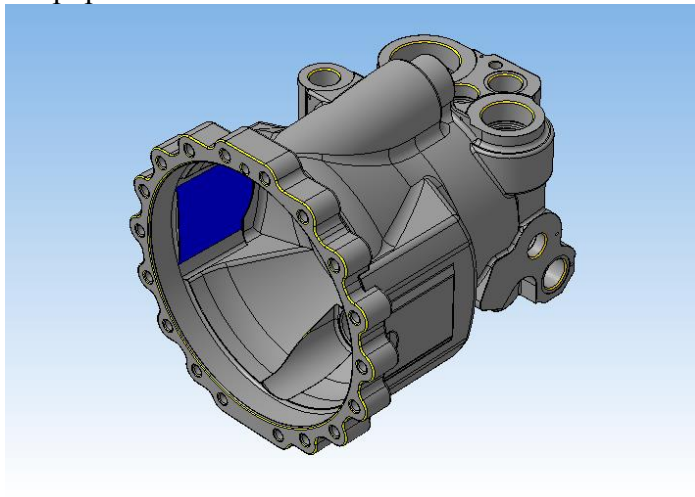


Рисунок 2. 3D-модель корпуса.

Обычно модель детали прорабатывается на стадии проектирования агрегата конструктором предприятия изготовителя.

2.3D модель детали открывается в программе Robot Studio, нулевая точка робота привязывается к одной из баз корпуса, выбираются поверхности для обработки

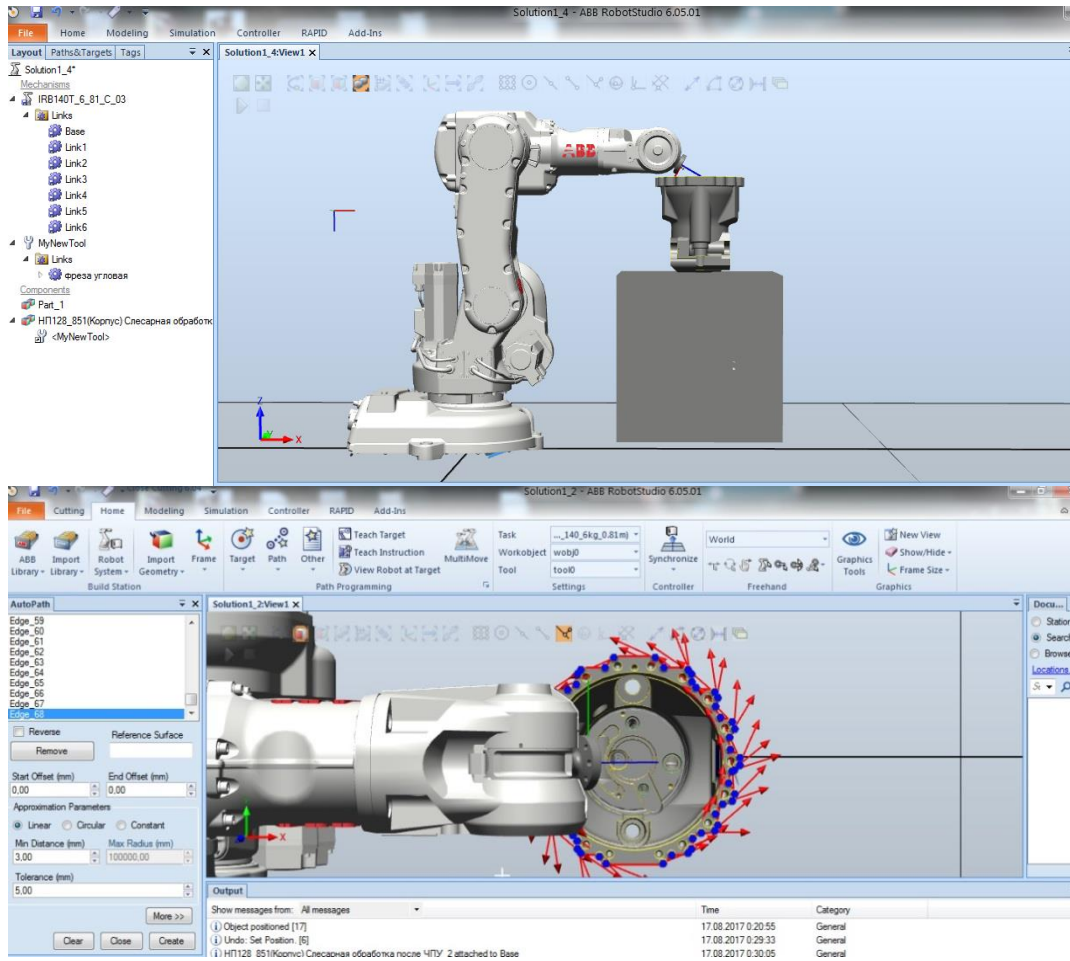


Рисунок 3. Выбор поверхностей обработки.

3. Программа анализирует выбранные плоскости, конвертирует движение привода робота в программный код, который синхронизируется со стойкой робота.

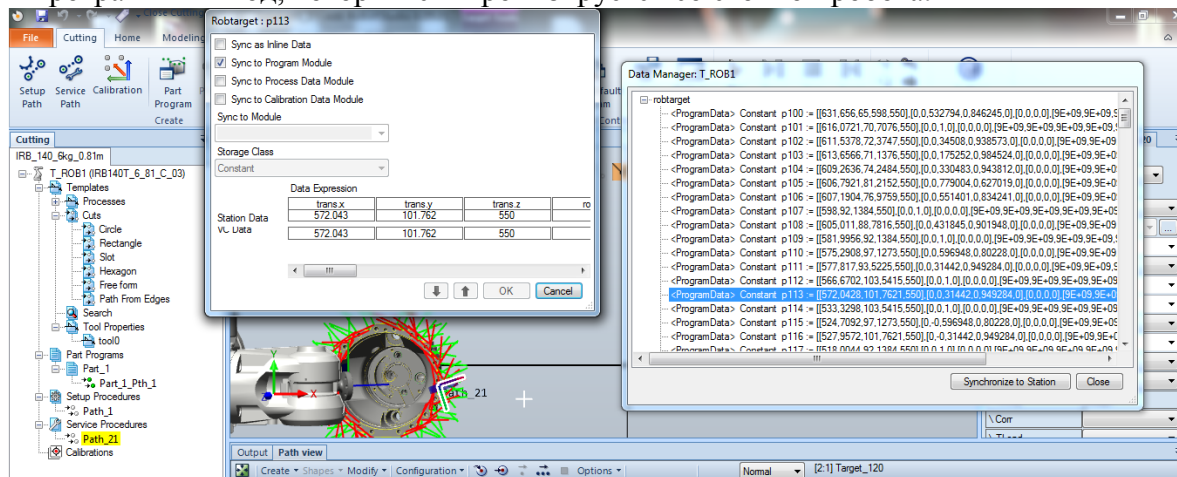


Рисунок 4. Траектория движения робота.

Выбор режущего инструмента

Для автоматизации слесарной операции, была проделана следующая работа. Производился подбор режущего инструмента, который позволяет проводить снятие заусенцев и притупление кромок на сложных поверхностях, а так же зачистку кромок на внутренних пересекающихся отверстиях с помощью эластичных абразивных или керамических элементов на гибком стержне.

- снятие заусенцев, притупление острых кромок наружных и внутренних фасок и скруглений

согласно ОСТ 1 0022-80 (Наружные кромки от 0,1 до 0,4; внутренние кромки от 0,2 до 0,8 мм)

- заправка и полировка  $R0,5^{+0,5}$  мм в отверстиях и на дне корпуса  $\varnothing 20H7$ ,  $\varnothing 14H7$ ,  $\varnothing 10H9$ ;
- зачистка плоских поверхностей внутреннего прямоугольного кармана до шероховатости  $Ra 0,63$ .

#### Режущее волокно

Для обработки кромок пересекающихся отверстий и обработки в отверстиях отлично подойдут абразивные щетки из режущего волокна.

Под действием центробежной силы ворсинки щетки прижимаются к стенкам отверстия и происходит удаление заусенцев на кромках пересекающихся отверстий. Щетка также может быть использована для полировки или удаления следов обработки на внутренних станках цилиндра.

#### Применение

Удаление заусенцев не более 0,6 мм, образованного на кромке пересекающихся отверстий. Полировка внутренней поверхности цилиндра и удаление следов обработки инструментом. Полировка дна глухих отверстий.

Щетка не предназначена для обработки отверстий с резьбой или другими прерывистыми поверхностями, так как ворсинки могут повредиться о кромки.

На рисунке, показан способ обработки.

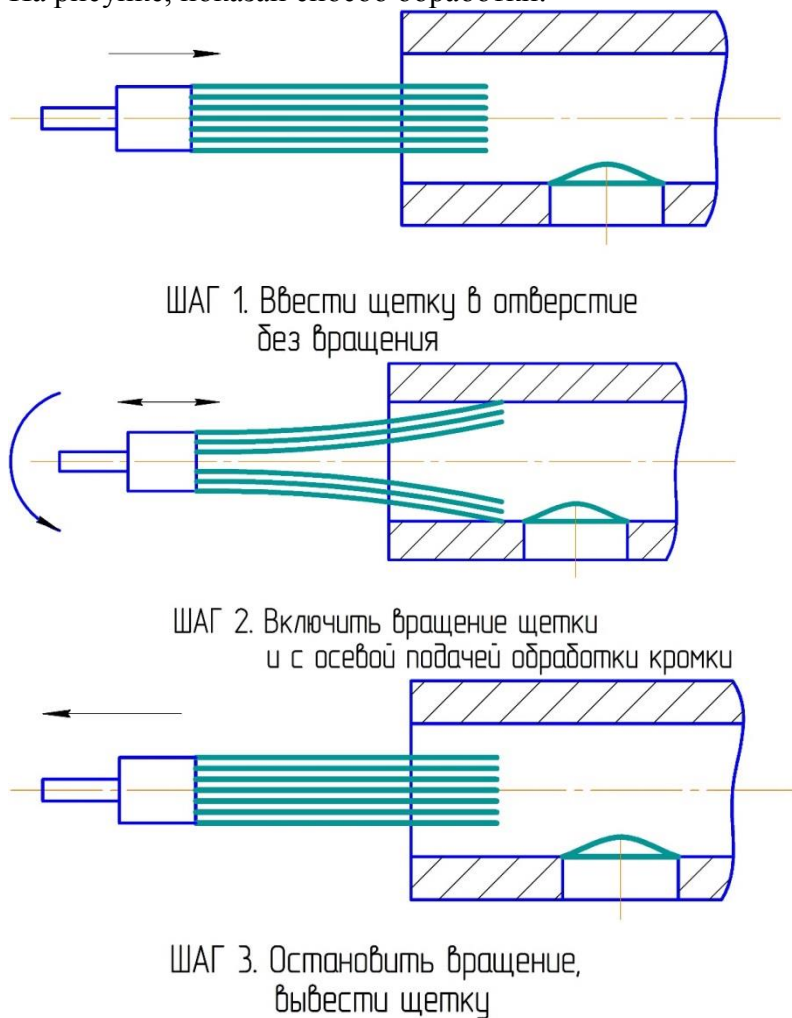


Рис.5.Способ обработки режущими щётками



Удаление заусенцев по внешнему контуру

снятие заусенцев, притупление острых кромок наружных и внутренних фасок и скруглений согласно ОСТ 1 0022-80 (Наружные кромки от 0,1 до 0,4 мм)

Конической формы борфреза по DIN 8032

и зубом по DIN 8033 с углом (90°).

Зачистка плоских поверхностей внутреннего прямоугольного кармана до шероховатости Ra 0,63

Круг вулканитовый полировальный гибкий мягкий (ГМ) 100X20X10 ГОСТ 51967-2002

Вулканитовая связка- многокомпонентная композиция ; основной компонент – синтетический каучук. В качестве добавок: вулканизирующий агент – сера, ускорители вулканизации (каптакс, тиурам и др.), минеральные и органические наполнители регулирующие физико-механические и эксплуатационные свойства абразивных инструментов и формовочные свойства массы. Инструмент на вулканитовой связке обладает эластичностью и плотностью, поэтому может использоваться как при обычных видах шлифования, так и при полирующих операциях

Заправка и полировка R0,5<sup>+0,5</sup> мм в отверстиях и на дне корпуса Ø20H7, Ø14H7, Ø10H9.

Шлифовальные головки изготавливаются из керамической связки и зеленого карбида кремния. Очень открытая

структура и специальная пропитка обеспечивают очень высокую производительность при обработке вязких материалов.

Головки специально предназначены для обработки алюминия и цветных металлов и характеризуется высокой степенью шлифования и хорошей производительностью съема металла.

Для обработки результатов экспериментов и разработки технологических рекомендаций используется система обратной связи- силомоментный датчик „ATI Axia F/T Sensor” который измеряет компоненты силы и крутящего момента (Fx, Fy, Fz, Tx, Ty, Tz) и передает эти данные на клиентские устройства через Ethernet. В соответствии с показателями силы, разложенными по осям, мы сможем автоматизировать процесс управления обработкой, привязав качество поверхности к определенным экспериментально выведенным значениям для конкретного материала и конкретной поверхности.



Рисунок 6. Силомоментный датчик ATI Axia F/T Sensor

## Литература

1. Божкова Л.В., Вартанов М.В., Автоматизация сборки изделий с применением роботов и виброустройств. – М.: Наука, 2013. –318с.
2. Krantz M., Andersson R. *Robotized Polishing and Deburring with Force Feedback Control*. // Department of Engineering Science, S-461, Sweden 2010.

УДК 621.865.8

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА КОНТАКТНЫХ СИТУАЦИЙ В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Максим Александрович Зыгмантович<sup>(1)</sup>, Роман Сергеевич Мищенко<sup>(2)</sup>

*Магистр 2 года<sup>(1)</sup>, аспирант 3 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра “Технология машиностроения”  
Московский политехнический университет*

*Научные руководители: М.В. Вартанов,  
доктор технических наук, профессор кафедры “Технология машиностроения”  
В. К. Петров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры “Теоретическая механика”*

### Введение

Из теории автоматической сборки и промышленной практики известно, что обеспечение условий собираемости является весьма сложной задачей при жестком базировании деталей. Условия сборки усложняются в связи с постоянным ростом точности деталей машин и их соединений. Даже современные промышленные роботы, имеющие точность позиционирования 0,03...0,07 мм, не обеспечивают достаточную технологическую надежность процесса.

Целью работы является повышение технологической надежности роботизированной сборки прецизионных соединений на основе применения активной адаптации.

Для достижения данной цели и реализации способа сборки с активной адаптацией необходимо решить задачу создания обратной связи в системе управления промышленным роботом и разработать адаптивный алгоритм управления.

Метод решения поставленной задачи основан на исследовании условий собираемости как основы для разработки алгоритма позиционно-силового управления сборочным роботом.

### Технологическое обоснование операции сборки цилиндрических соединений

Из теории автоматической сборки условия протекания рассматриваются в основе нескольких этапов. Для различных видов соединений число этапов конечно [2]. Основные этапы сопряжения цилиндрических соединений показаны на рисунке 1. Выделяют четыре этапа: контакт по торцу и втулке, контакт по фаскам, трехточечный контакт и двухточечный контакт. Каждый из этапов характеризуется определенным соотношением сил и моментов, возникающих в момент контакта в ортогональной системе координат.

Целью проведения экспериментального исследования являлось подтверждение или опровержение предположения, сделанного в работе [4] о том, что при роботизированной сборке цилиндрических соединений с малыми зазорами до 0,01 мм в зоне сборки возникает двухточечный контакт.

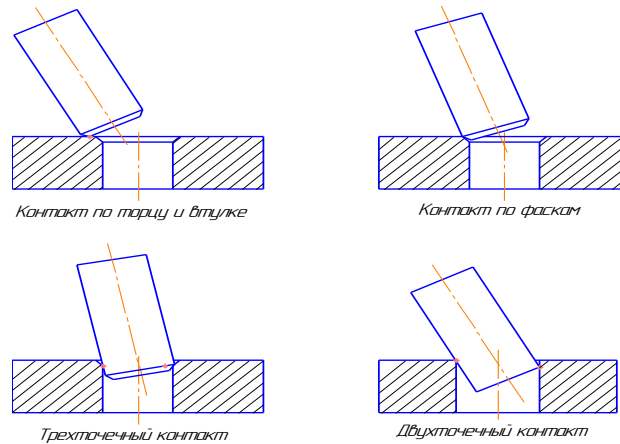


Рис. 1. Контактные ситуации.

### Математическая модель двухточечного контакта

На рисунке 2 изображена схема действия сил в рассчитываемой математической модели.

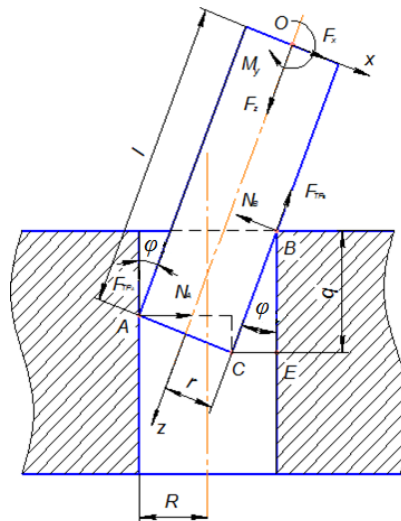


Рис. 2. Схема действия сил при двухточечном контакте.

Уравнения равновесия:

$$\begin{cases} F_x - N_B + N_A \cos \varphi - F_{TPA} \sin \varphi = 0 \\ F_z - F_{TPB} - F_{TRA} \cos \varphi - N_A \sin \varphi = 0 \\ F_{TPB} z - N_B \left( l - \frac{q}{\cos \varphi} \right) + N_A \cos \varphi l - N_A \sin \varphi z - F_{TPA} \cos \varphi z - F_{TPA} \sin \varphi l - M = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Основное расчетное уравнение:

$$M_y = \left[ F_x + \frac{F_z - f F_x}{2f + 2 \frac{R-r}{q} (1-f^2)} \cdot \left( 1 - 2f \frac{R-r}{q} \right) \right] \cdot (fr - l + q) + \frac{F_z - f F_x}{2f + 2 \frac{R-r}{q} (1+f^2)} \cdot \left[ l - fz - 2 \frac{R-r}{q} (r + fl) \right] \quad (2)$$

Получив значения  $F_x$  и  $F_z$  силомоментным датчиком, необходимо вычислить  $M_y$  по формуле (2) и сравнить с показаниями  $M_y$  силомоментного датчика.



### Экспериментальная установка

В докладе представлена экспериментальная установка для исследования роботизированной сборки, дооснащенная адаптивным устройством (рис. 3). Приводится описание её структуры и алгоритм функционирования. Установка собрана на базе промышленного робота ABB IRB 140 (1) с контроллером IRC5. Собираемые детали (3) цилиндрические вал и втулка жёстко базируются в монтажном приспособлении (2) и трехкулачковом самоцентрирующемся патроне (4) соответственно. Информация о возникающих в зоне сборки силах и моментах поступает в систему управления промышленным роботом, а также регистрируется персональным компьютером (5).

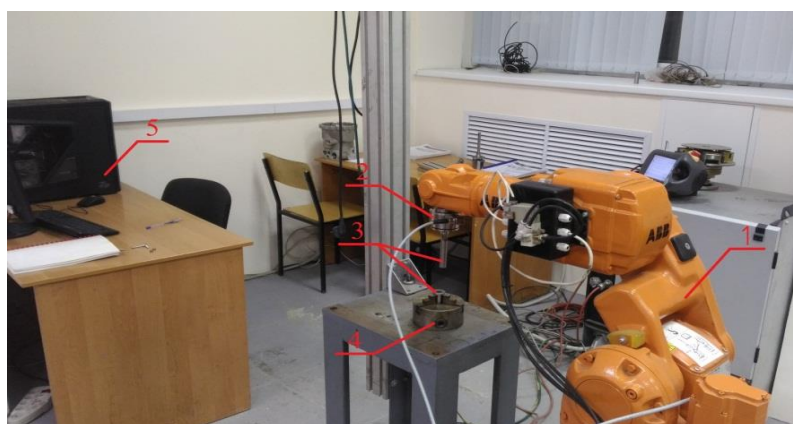


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования роботизированной сборки с адаптацией: 1 – промышленный робот ABB IRB 140; 2 – адаптивное устройство; 3 – экспериментальные образцы; 4 – трехкулачковый самоцентрирующийся патрон; 5 – персональный компьютер.

### Описание эксперимента

Как отмечалось выше, целью эксперимента являлось подтверждение ситуации возникновения двухточечного контакта в зоне сборки.

Как видно из рисунка 2 одним из основных параметров математической модели является глубина сопряжения  $q$ . Контроль данного параметра производился алгоритмом позиционного управления промышленным роботом. Как видно из таблицы 1 измерения проводились в 13 точках в процессе сопряжения экспериментальных образцов.

Таблица 1. Экспериментальные данные

№ точки	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$q$	$M_y(\text{расч})$	$M_y(\text{изм})$
1	-2,8	-0,8	0	0,1	-0,3	0	0		
2	-3,1	-0,9	0	0,1	-0,4	0	0,25	0,392031	0,4
3	-2,7	-0,7	0	0,1	-0,3	0	0,5	0,343105	0,3
4	-3,3	-0,8	0,1	0,1	-0,4	0	0,75	0,418801	0,4
5	-2,9	-0,7	0,05	0,1	-0,3	0	1	0,367815	0,3
6	-4	-0,9	0,05	0,12	-0,5	0	1,25	0,506914	0,5
7	-3,6	-1,1	-0,5	0,15	-0,45	0	1,5	0,455429	0,45
8	-5,2	-1,5	-6,9	0,2	-0,6	0	1,75	0,64687	0,6
9	-6,2	-1,3	-24,3	0,25	-0,6	0	2	0,724659	0,6
10	-8,8	-1,1	-45,6	0,3	-0,75	0	2,25	0,962137	0,75
11	-12,2	-0,9	-64	0,37	-0,98	0	2,5	1,275974	0,98
12	-15,3	-0,5	-83,6	0,4	-1,2	0	2,75	1,514397	1,2

13	-17,5	-0,02	-109	0,45	-1,3	0	3	1,572421	1,3
----	-------	-------	------	------	------	---	---	----------	-----

Таким образом, глубина сопряжения вала во втулку составила 3 мм, это обусловлено резким ростом составляющей главного вектора сил  $F_z$ , что свидетельствует о возникновении заклинивания в зоне сборки (рис. 4). Во избежание повреждения оборудования решено было остановиться на значении в 109 Н. Шаг приращения выбран 0,25 мм и подбирался экспериментально, в процессе исследования.

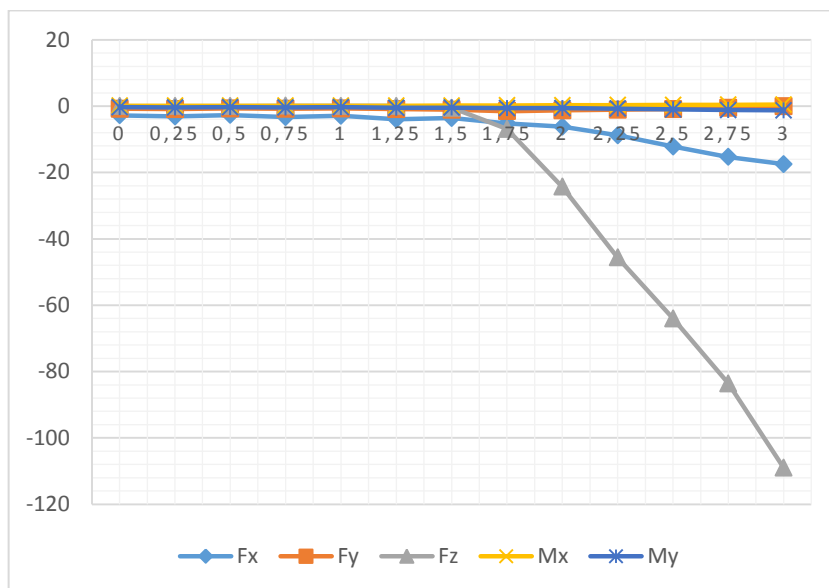


Рис. 4. Зависимость компонент главного вектора сил от глубины сопряжения.

Полученные данные были обработаны в соответствии с методикой, описанной выше. На рисунке 5 показано сравнение графиков:  $M_y$  (расч), описываемый основным расчетным уравнением (2) и графика  $M_y$  (изм) по данным измеренным в процессе эксперимента в 13 точках.

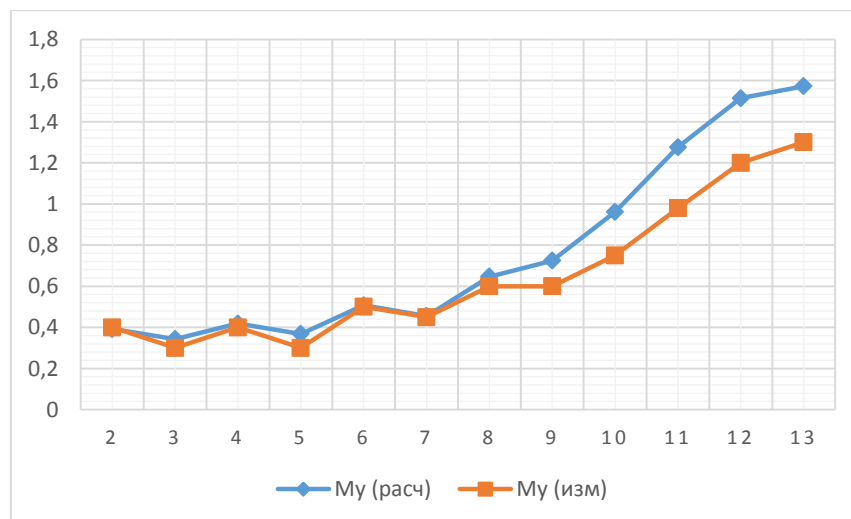


Рис. 5. Сравнение расчетного и экспериментального  $M_y$

### Заключение

Таким образом, можно сделать заключение о возникновении двухточечного контакта и подтверждении адекватности созданной математической модели сопряжения цилиндрических соединений при роботизированной сборке.

Данная математическая модель будет полезна при создании адаптивного алгоритма управления промышленным роботом.

#### **Литература:**

1. Божкова Л.В., Вартанов М.В., Шандров Б.В. Этапы создания алгоритмического обеспечения интеллектуальной роботизированной сборки // Известия Волгоградского государственного технического университета № 21(148) / том 12 / 2014 г., с. 59-64.
2. Черняховская Л.Б. Кинематический и динамический анализы автоматической сборки цилиндрических деталей: Монография / Самара: Самар. гос.техн. ун-т, 2011. – 75 с.: 55 ил.
3. Мищенко Р.С., Вартанов М.В., Архипов М.В. Задача разработки позиционно-силового управления для повышения технологической надежности роботизированной сборки // Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2016, с. 245.
4. Вартанов М.В., Архипов М.В., Петров В.К., Мищенко Р.С. Экспериментальные исследования условий собираемости при активной роботизированной сборке // Станки и Инструмент №4 / 2017 г., с. 14-16.

**УДК 621.86/.87**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Екатерина Николаевна Ильченко

*Магистр 1 года,  
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: И. Н. Зинина,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование  
машиностроения»*

Развитие робототехники и ее внедрение в массовое производство позволяет улучшить качество и точность производимой продукции, облегчить процесс работы и повысить конкурентоспособность предприятий. Широко применяемые промышленные роботы (ПР) весьма эффективны и могут быть использованы во многих сферах производства, но их рабочее место в пространстве цеха или участка зафиксировано. Это увеличивает материальные вложения в производство, так как для большей эффективности предприятия требуется количество роботов, соответствующее числу рабочих мест. Использование ПР, перемещающихся по направляющим сокращает общее количество требуемых роботов, но увеличивает затраты на обслуживание роботов. Кроме того, они также остаются «привязанными» к обслуживаемой рабочей области.

Перечисленных недостатков лишены мобильные роботы. Они могут свободно перемещаться в пространстве и не только обслуживать большее количество оборудования, но и выполнять несколько различных функций – перевозка деталей и заготовок, загрузка их на станки и в хранилища, смена обрабатывающих инструментов станков и все это не для одного, а для группы станков или автоматической линии. Это сокращает количество роботов, требуемое для автоматизации производственного процесса. Производство и внедрение такого универсального мобильного робота выгодно еще и тем, что при

изменении планировки или при перевозке ПР в новое место его переналадка заметно упрощается: так как нет нужды монтировать направляющие, робота достаточно перепрограммировать. Сегодня мелкосерийное или среднесерийное производство имеет большие трудности с роботизацией, т.к. она требует значительных капитальных вложений и при таком типе производства медленно окупается, а применение мобильных роботов позволило бы повысить эффективность производства с минимальными затратами (по сравнению с традиционной роботизацией).

За рубежом уже активно продвигают эту идею. Так, например, компания KUKA уже производит автономного робота KMR iiwa (KUKA Mobile Robotik intelligent industrial work assistant), который представлен на рисунке 6. Он является объединением мобильной платформы и, разработанной компанией KUKA, технологии LBR (от немецкого «Leichtbauroboter» что переводится как «робот легкой конструкции»), представляющей из себя робота-манипулятора. Он оснащен системой, которая защищает робота от столкновений с неживыми объектами, а также живые объекты от столкновения с роботом - KMR iiwa способен выполнять свои функции в производстве как совместно с человеком, так и без него. [1]



Рисунок 6 - Автономный робот KMR iiwa

Робот, а точнее система роботов Fetch и Freight представленная на рисунке 7, имеет две отдельные функциональные части и предназначена для выполнения работ в условиях склада. Fetch это относительно большой функциональный манипулятор, а Freight это мобильная база, которая используется в качестве автономной корзины для товаров. Роботов типа Freight можно использовать и отдельно от Fetch, в качестве самостоятельной мобильной платформы, которая может следовать за человеком. Робот имеет программное обеспечение, включающее в себя способность обнаруживать любые препятствия и сразу останавливать руку, он недостаточно быстро разгоняется и не может повредить человеку в движении. На роботе есть достаточное количество креплений, как для контейнеров, так и для датчиков – при изменении задач его можно модифицировать. [2]



Рисунок 7 – Роботы Fetch и Freight

Аналогичных роботов, разработанных в России, пока нет. Мобильные роботы, разрабатываемые в нашей стране, имеют весьма узкую военную или космическую направленность. В одном из приоритетных направлений – военной отрасли, разработки получают признание на международных выставках. Создание мобильных робототехнических комплексов (МРК) имеет схожий с вышеописанными разработками принцип – это объединение подвижной и рабочей части, которые способны работать отдельно. МРК создаются путем дооснащения уже существующих образцов военной техники модульным встраиванием или навесным оборудованием. Также, как и предыдущие разработки, МРК рассчитаны на работу без человека - управляются безэкипажным (дистанционным) способом, но в состоянии работать с ним. МРК выполняют множество задач в зависимости от своей конструкции: разведка, поражение целей, огневая поддержка войсковых подразделений, патрулирование и охрана объектов, разбор завалов и т.д. [3].

Данные разработки при условии внесении некоторых изменений (с учетом используемого пространства) можно применять для обслуживания производства. Если взять транспортную платформу от МРК и закрепить вместо вооружения манипулятор, то получившийся мобильный робот сможет занять, пока еще пустующую, нишу мобильных производственных роботов в России. Концептуальное представление подобных роботов представлено на рисунке 3. Несмотря на заметное отставание в области гражданской робототехники, она имеет колоссальные перспективы развития в нашей стране.

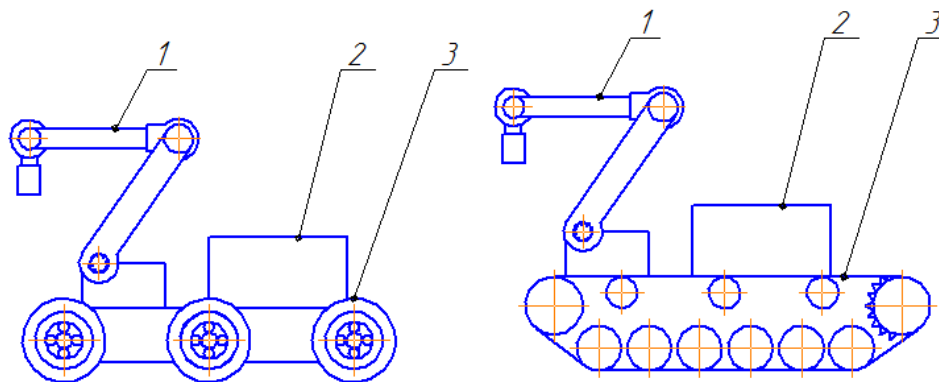


Рисунок 3 –Концептуальное представление мобильных роботов на 6-ти колесной платформе (слева) и на гусеничной платформе (справа).  
1 – Манипулятор, 2 – Корзина для деталей, 3 – Мобильная платформа.

### Литература

1. *KUKA Robotics.KMR iiwa*. Режим доступа: <https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/мобильность/мобильные-роботы/kmr-iiwa> (дата обращения 09.02.2018)
2. *Рубцов И.В.* Вопросы состояния и перспективы развития отечественной наземной робототехники военного и специального назначения.// Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге, 2013
3. *Славинская О.В.* Дуэт складских роботов Fetch и Freight от Fetch Robotics. Режим доступа:[https://robotics.ua/news/service\\_robots/4506-duet\\_warehouse\\_robots\\_fetch\\_and\\_freight\\_from\\_fetch\\_robotics](https://robotics.ua/news/service_robots/4506-duet_warehouse_robots_fetch_and_freight_from_fetch_robotics) (дата обращения 26.02.2018)

УДК 621.923.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМХ КОЛЁС ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

Алена Глебовна Караванова

*Магистр 1 года,  
кафедра «Технология и оборудование машиностроения»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.С. Калашиников,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и оборудование  
машиностроения»*

Планетарные передачи широко применяют в автоматических коробках передач и редукторах ведущих мостов автобусов, легковых и грузовых автомобилей. Планетарные передачи состоят из зубчатых колес с внешним зацеплением – солнечного 2 и трех или более сателлитов 2, водила и коронного зубчатого колеса 1 с внутренним зацеплением.





Рис. 1. Планетарная передача

Для снижения центробежной силы, возникающей в планетарной передаче, зубья ведущей солнечной шестерни, сателлитов и неподвижного коронного колеса должны быть изготовлены с высокой точностью (5-6 степень по ГОСТ 1643-81) и низкой шероховатостью боковых поверхностей ( $Ra$  0,8-2,0 мкм по ГОСТ 25142-82). Для достижения высокой точности при изготовлении сателлитов (рис. 1) планетарной передачи ( $m = 4,5$  мм,  $z = 21$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $d = 94,5$  мм,  $x = +0,22$  мм, материал – сталь 20ХНЗА).

После предварительной механической обработки заготовки ведущей шестерни подвергались химико-термической обработке, которая заключалась в насыщении поверхностных слоев металла углеродом при температуре 850-950°C (газовая цементация) с последующей закалкой в масле. Глубина слоя цементации на поверхности зубьев составляла 1,0-1,3 мм. Твёрдость поверхности зубьев находилась в пределах 59-63 HRC, а твёрдость сердцевины зуба равнялась 30-44 HRC. В качестве финишной операции применяли непрерывное обкатное зубошлифование червячным кругом.

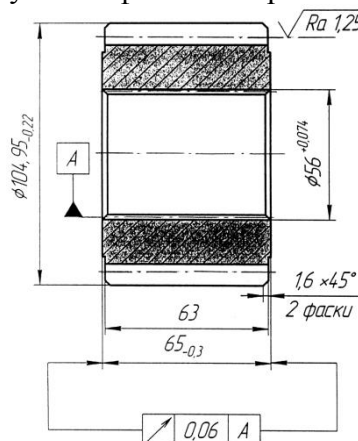


Рис. 2. Ведущая цилиндрическая шестерня планетарной передачи

В качестве режущего инструмента применяли абразивный червячный шлифовальный круг высокой пористости (открытой структуры) марки 25A16CM1(K)12K5 с внешним диаметром  $D = 275$  мм, высотой  $H = 125$  мм и диаметром посадочного отверстия  $d = 160$  мм (рис. 3). Шлифовальный круг соответствовал классу AA по точности размеров и формы и 1 классу по неуровненности по ГОСТ 2424 – 83 (в редакции 1996 г.). Высокопористая структура круга – 12 характеризовалась объёмными долями: абразивного зерна  $\approx 35\%$ , керамической связки  $\approx 14\%$  и пор  $\geq 51\%$ .

Зубошлифование производили червячным шлифовальным кругом 1, исходный контур, которого имеет форму зубчатой рейки (рис. 3). Эвольвентный профиль зубьев сателлитов образовывался посредством движения обкатки червячного шлифовального круга 1 и зубчатого колеса 3, находящихся в беззазорном зацеплении. Одновременный контакт на нескольких левых и правых боковых поверхностях зубьев колеса и витков шлифовального круга при их вращении обеспечивал непрерывный съём металла. Благодаря движениям подач: радиальному 5 и осевому 4 зубья шлифуют по всей высоте и

длине. Управляемое тангенциальное движение подачи 2 заготовки вдоль оси шлифовального круга позволяет использовать круга. Червячный шлифовальный круг устанавливают под углом к оси заготовки, который зависит от угла подъёма витка круга и угла наклона обрабатываемого зубчатого колеса.

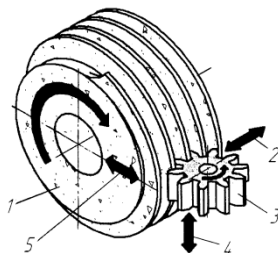


Рис. 3. Схема непрерывного обкатного зубошлифования

Выводы: использование в качестве абразива в шлифовальном круге смеси высококачественного плавленного электрокорунда приблизительно 70% и спечённого микрокристаллического корунда до 30% позволило существенно повысить подачи при зубошлифовании, увеличить время работы круга между правками и снизить расход правящего инструмента. Выявленная технологическая взаимосвязь между точностью зубьев до и после зубошлифования позволила установить, что для достижения 5 – 6 степени точности по ГОСТ 1643 – 81. Непрерывное обкатное зубошлифование с радиально – диагональным движением подачи позволило получить высокие показатели по производительности и качеству изготовленных зубчатых зацеплений.

### Литература

1. *Vausch Tomas. Innovative Zandrnfertigung. Expertverlag GmbH, D-71262, Reningen, Germany, 2006, 778 p.*
2. *Калашиков А.С., Моргунов Ю.А., Калашиков П.А. Современные методы обработки зубчатых колёс. М.: Издательский дом «Спектр». 2012. 238 с.*
3. *Шандров Б.В., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Развитие и применение наукоёмких технологий в производстве летательных аппаратов. Журнал «Известия МГМУ (МАМИ)». 2013, № 2 (16), т. 2, С. 278...283.*
4. *Калашиков А.С., Моргунов Ю.А., Калашиков П.А. Современные методы зубошлифования цилиндрических колёс. «Справочник. Инженерный журнал». 2010. № 5, С. 21...26.*
5. *Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007, 668 с.*

### УДК 621

## ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕКСАПОДОВ

Николай Сергеевич Касумов

*Студент 2 курса, бакалавриат  
кафедра «Технологии машиностроения»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана (КФ)*

*Научный руководитель: В.В.Калмыков,  
старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения»*



Наиболее перспективным с точки зрения развития станкостроения в мире является производство гексаподов. Технологическое оборудование, рабочие органы которого имеют 6 степеней свободы, как правило имитируют руки человека. Впервые, кинематика гексапода была описана в 1956 году В. Е. Гью (V.E. Gough) [1]. Начиная с 60-х годов прошлого столетия под гексаподами понимались все устройства, основанные на платформе Гью-Стюарта, так как Д. Стюарт в 1965 году предложил усовершенствованную конструкцию [2]. На Рис. 1. показана схема данной платформы.

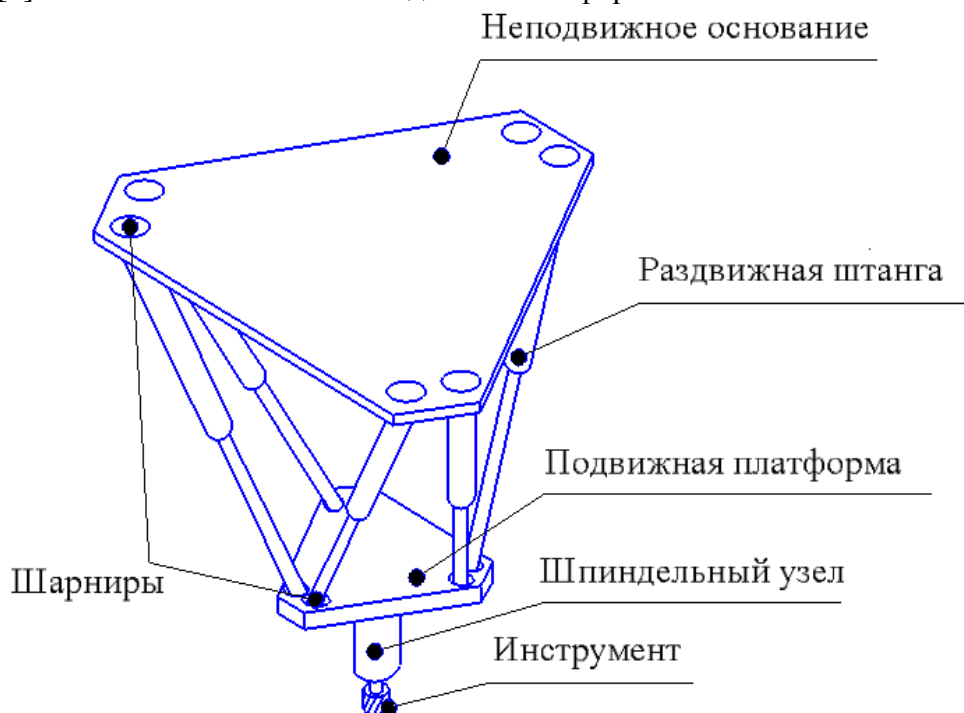


Рис. 1 Платформа Гью-Стюарта

Сравнивая гексаподы первых выпусков со станками стандартной компоновки, видно, что они по своим массогабаритным показателям больше (Рис. 2).

Современные гексаподы имеют ряд преимуществ перед станками классической компоновки:

- сокращение времени подготовки;
- высокая точность измерений и обработки;
- повышенная скорость движений (скорость быстрых перемещений достигает 10 м/с, рабочих движений – до 2,5 м/с);
- отсутствие направляющих;
- высокая степень унификации мехатронных узлов;
- высокое качество управления.

Первым предприятием, выпустившим отечественный гексапод, является ОА «ЛАПИК» (г. Саратов.) [3].

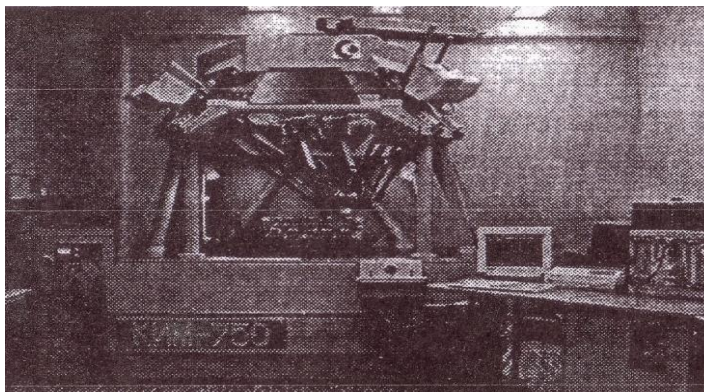


Рис. 2 Общий вид технологической машины-гексапода

Технологические модули данных машин могли выполнять фасонную обработку с высокой точностью изделий методом фрезерования, шлифования, сверления, полирования, а также они могли выполнять различные виды операций, такие как гравировка, растачивание, разметка и т.д.

Дальнейшее развитие гексаподов, в большей своей части, связано с применением интеллектуальных линейных мехатронных модулей и созданием высоко эффективного математического и программного обеспечения, что позволило решить многие задачи, такие как планирование и управление их движением в реальном времени.

В современном станкостроении конструкции гексаподов избавлены от недостатков первых моделей. На рис. 3. представлен гексапод современного типа [4], который обладает точностью позиционирования исполнительных органов в пространстве – не менее 25 мкм. Погрешность размеров изготовленных деталей обычно не превышает нескольких микрометров.



Рис. 3 Современный вид гексапода

Например использование данных устройств в машиностроении позволит обрабатывать детали машин с очень высокой точностью, при этом работая не с одной деталью, а несколькими одновременно. Это позволит практически полностью автоматизировать процесс избежать дефекты, получаемых при работе на обычных станках, так как каждая конечность станка-гексапода имеет возможность перемещаться в любом направлении имея 6 степеней свободы.

Применение роботов-гексаподов в медицине позволит выполнять операции различного рода и различной сложности без помощи человека. Именно поэтому совершенствование данного типа устройств, имеет широкие перспективы.

## Литература

1. *Gough, V. E.*, Contribution to discussion of papers on research in Automobile Stability, Control and Tyre performance, Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng., pages 392—394, 1956—1957.

2. D. Stewart, A Platform with Six Degrees of Freedom, UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings 1965-66, Vol 180, Pt 1, No 15.

3. Технологические машины – гексаподы // studfiles.net: файловый архив студентов. URL: <https://studfiles.net/preview/1379719/page:6/> (дата обращения: 20.02.2018).

4. Проектирование и строительство в Университете Карабука // ozlemdemirbas.tr.gg: Hafta Hexapod Cnc Model. URL: <http://ozlemdemirbas.tr.gg/11-.Hafta--Hexapod-Cnc-Model.htm> (дата обращения: 22.02.2018)

## УДК 662.16

### ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ НА НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Владимир Александрович Московкин, Иван Валерьевич Лизунов, Владислав Евгеньевич Гилица, Алексей Юрьевич Беспояско

*Студенты 1 курса,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.П. Яковлева,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»*

В транспортном машиностроении широко используют цилиндрические прямозубые зубчатые колеса с внешним зацеплением среднего модуля (от 2 до 6 мм). В основном их изготавливают из цементируемых (12Х2Н4А, 20Х3МВФ и др.) и азотируемых (40ХНМА, 38ХМЮА и др.) сталей.

Качество поверхности зубчатых колес определяется совокупностью характеристик шероховатости и волнистости, физико-химических свойств и микроструктуры поверхностного слоя.

При обработке зубчатых колес на зубообрабатывающих станках методом обкатки ошибки изготовления червяков делительных пар станков, шаговые ошибки винтов подачи и т.д. переносятся на боковые поверхности нарезаемых зубьев в форме волнистости [1-3]. Волнистость зуба возникает от колебания температуры окружающей среды, вибраций и ряда других факторов. При шлифовании зубьев на станках «Мааг», нередко возникает диагональная волнистость [4, 5]. При наличии на рабочих поверхностях зубьев волнистости, даже при небольшой высоте волн, контакт зубьев под нагрузкой происходит не по всей рабочей длине образующих, а отдельными, изолированными друг от друга пятнами, т.е. становится прерывистым. При неблагоприятных сочетаниях волнистости на зубьях колес передачи могут возникнуть вибрации и даже поломки. Поэтому вопрос определения величины и характера волнистости зубьев имеет большое значение при оценке характеристик нагрузочной способности зубчатых передач.

В настоящее время в производственной практике шероховатость поверхности зубьев в основном определяется параметром, характеризующим лишь высоту неровностей. В то же время известно, что при постоянной высоте неровностей их форма, шаг и расположение могут значительно различаться между собой. Поэтому в условиях жестких требований к качеству изготовления зубчатых колес нельзя ограничиваться регламентацией лишь стандартных геометрических характеристик качества поверхности. Геометрические характеристики шероховатости оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства зубчатых колес.

После выполнения финишных технологических операций зубчатые профили имеют на своих поверхностях шероховатость, волнистость и макронеровности в виде отклонения от эвольвенты. Наличие неровностей приводит к тому, что действительная (фактическая) площадь контакта значительно меньше номинальной, определяемой произведением ширины контактной площади на ее длину. При этом далеко не всегда поверхность с меньшей высотой неровностей имеет большую опорную площадь, чем поверхность с большей высотой неровностей. Это, например, нашло свое отражение в противоречивости взглядов о влиянии шероховатости на противозадирную стойкость зубчатых колес.

Как отмечается авторами [6-10], для повышения нагрузочной способности зубчатых колес важно получение такой шероховатости, которая обеспечивала бы надежное разделение контактирующих тел слоем смазки и участие в контакте достаточно большей их площади. Как показали специальные исследования, нагрузочная способность зависит от технологических методов обработки.

Таким образом, уменьшение шероховатости профиля переходной поверхности и впадины зубьев способствует увеличению изгибной прочности, т.е. нагрузочной способности зубчатых колес. Применение методов ППД для выкружки зубьев или червячного колеса создаст резерв для повышения их нагрузочной способности.

## Литература

1. Жиганов В.И., Сахно Ю.А., Демидов В.В., Сахно Е.Ю. Механическая обработка зубчатых колес - Учебное пособие - УлГТУ, Ульяновск, 2011.
2. Кравченко И.И., Яковлева А.П. Анализ видов разрушения зубчатых колес // Главный механик. 2015. № 5-6. С. 45-50.
3. Забровски Т.У. Повышение эффективности процесса зубошлифования на основе управления точностью и качеством поверхностного слоя зубьев - МГТУ СТАНКИН, Москва, 2004.
4. Калашников С.Н., Калашников А.С. Зубчатые колёса и их изготовление. - М.: Машиностроение. 1983 - 311с.
5. Яковлева А.П. Упрочняющая обработка зубчатых колес крупного модуля // Авиационная промышленность. 2014. № 2. С. 31-33.
6. Паршиков О.Н., Яковлева А.П. Обработка стальных деталей электромеханическим методом // Главный механик.- 2014. - №7. - С. 62-64
7. Витенберг Ю.Р., Петрусевич А.И. Влияние приработки на сопротивление заеданию смазываемых шероховатых поверхностей при трении качения со скольжением // Вестник машиностроения, 1976, № 6, С. 36-45.
8. Яковлева А.П. Обработка зубчатых колес крупного модуля// Главный механик. 2014. № 6. С. 40-42.
9. Яковлева А.П., Савельева Л.В., Наумов В.А., Шарпов С.Н., Бессуднов Л.И. Причины разрушений зубчатых колес // Главный механик. 2017. № 1. С. 43-48.
10. Павликов П.Я., Шаталов В.К., Яковлева А.П. Комбинированная упрочняющая обработка крупногабаритных зубчатых колес // В сборнике: Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы Москва, 2000. С. 141-151.

**УДК 53.084.823**

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ЗА СЧЁТ МОДИФИКАЦИИ ЕГО КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ**

Александр Евгеньевич Образцов

*Магистр 2 года*

*кафедра: «металлорежущие станки»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Г. Шишов,*

*Доцент кафедры «Металлорежущие инструменты»*

Точность и производительность – главное функциональное качество станков. Для обеспечения высокой точности требуется учёт различных факторов на стадии проектирования. В рамках дипломного проекта было изучено влияние компоновочного решения станка и предложен более совершенный вариант компоновки токарно-фрезерного станка с ЧПУ.

При анализе компоновочного решения станка рассматривалась несущая система станка (НС). НС – это те детали станка, которые воспринимают нагрузку из зоны резания и определяют точность и производительность станка. НС состоит из двух основных частей: НС главного движения и позиционирования. НС главного движения составляют узлы, которые обеспечивают главное движение на станке, НС позиционирования – узлы, обеспечивающие движение подачи.

Анализировалось влияние трёх факторов:

- распределение числа координатных осей между НС главного движения и позиционирования,
- наличие консолей в конструкции станка,
- примерное положение центра масс станка.

В теории точности станков [1] показано, что жёсткость станка ниже жёсткости самого слабого звена. Чем больше координатных осей в конструкции НС, тем больше стыков и ниже жёсткость этой НС. Для обеспечения максимальной жёсткости станка необходимо, чтобы разница в числе координатных осей у НС главного движения и позиционирования была не больше 1.

На точность сильно влияют консоли. Прогиб консоли пропорционален кубу её длины. Консоль возникает не только из-за длинных деталей. Если поставить несколько узлов друг на друга, получится «пирамида», которая будет вести себя как вертикальная балка.

Также анализировалось примерное положение центра масс станка. При уменьшении высоты положения центра масс повышается устойчивость станка. Это ведёт к увеличению максимально возможной ширины стружки и за счёт этого повышается производительность станка [2].

В качестве прототипа в дипломном проекте был выбран станок токарно-фрезерный Takisawa TMT 4500 TT [3]. Компонировочное решение этого станка показано на рис. 1.

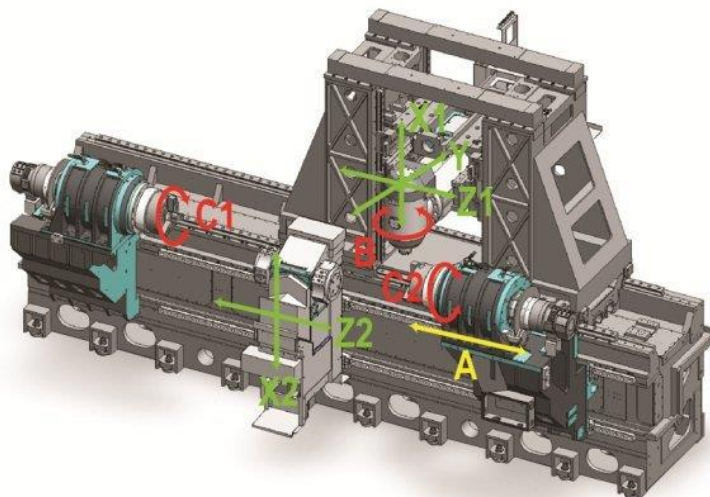


Рис. 1. Координаты станка Takisawa TMT 4500 TT

Данный станок имеет ряд недостатков:

1. Неравномерное распределение координат: неподвижный шпиндель с координатой  $C_1$  и суппорт с фрезерной головкой с координатами  $X_1$ ,  $Y$ ,  $Z_1$  и  $B$ . В итоге суппорт с фрезерной головкой будет лидировать по жёсткости.
2. Суппорт с фрезерной головкой поднят над станиной, что поднимает центр масс станка и снижает его производительность.

С учётом недостатков станка было разработано компоновочное решение, показанное на рис. рис. 2.

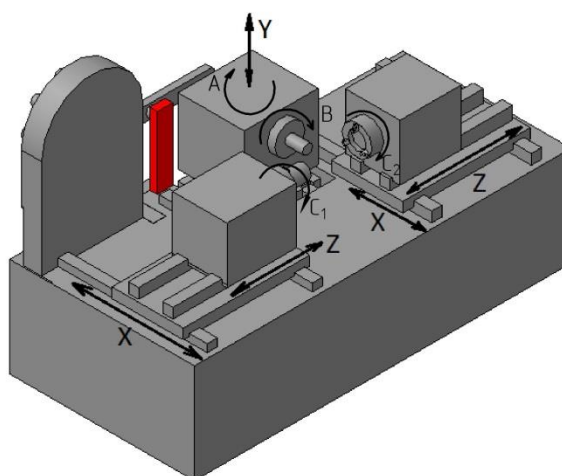


Рис. 2. Новое компоновочное решение

В новом компоновочном решении число координатных осей между НС главного движения и позиционирования различается на единицу, а центр масс стал значительно ниже.

### Литература:

1. Основы проектирования точных станков. Теория и расчёт: учебное пособие / П.М. Чернянский. – М. КНОРУС, 2010. – 240 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. I: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; Под общ. Ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.: ил.
3. Токарно-фрезерный станок с ЧПУ Takisawa TMT 4500 S [Электронный ресурс]. Технические характеристики. URL: <https://deg.ru/catalog/id1630> (дата обращения 12.03.2018).

УДК 65.011.56; 658.512.4; 621.792

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА АНАЭРОБНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Станислав Андреевич Мозгин

*Аспирант 2-го года,  
кафедра «Технология машиностроения»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Игнатов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»  
Научный консультант: Ю.А. Островский,  
доцент кафедры «Технология машиностроения»*

Анаэробные клеевые составы широко применяются в машиностроении при сборке металлических деталей. Данные КС отверждаются в отсутствие кислорода воздуха и применяются в малых зазорах до 0,5 мм. При необходимости использования таких составов в зазорах свыше 0,2 мм прибегают к увеличению вязкости состава [1]. В том случае, если материалы склеиваемых деталей относятся к неактивным (замедляющим процесс отверждения), таким как нержавеющая, высокоуглеродистая сталь, алюминий, металлы с покрытием, то необходимо предварительное нанесение активатора. Анаэробные материалы являются однокомпонентными, обладают достаточно широким температурным диапазоном эксплуатации (от -196 до +300°C) и высокой прочностью.

Анаэробные клеевые составы применяются в дизельном двигателестроении, в частности, при фиксации зубчатого венца маховика, зубчатого колеса распределительного вала, стакана форсунки в головке блока цилиндров, а также при герметизации посадки втулки клапана, втулки регулировочного винта в блоке цилиндров и прочих соединений. Применение клеевых соединений обеспечивает снижение напряжений в соединении, отсутствие коррозии, повышение способности поглощать вибрации, снижению требований к точности и шероховатости поверхностей.



Однако, внедрение анаэробных клеевых материалов осложняется некоторыми трудностями при разработке технологического процесса (ТП) сборки клеевых соединений. К основным проблемам при разработке технологии относится множество альтернатив при формировании технологических решений, что является следствием большого разнообразия методов подготовки поверхности, марок клеевых и уплотнительных материалов, оборудования для нанесения и дозирования; субъективность решений, принимаемых технологом; недостаточная разработанность методики проектирования; нехватка технологов по сборке клеевых соединений. Перечисленные обстоятельства создают предпосылки для снижения качества изделия с одновременным повышением себестоимости и трудоемкости его изготовления. Устранению приведенных недостатков способствует разработка и применение САПР технологических процессов сборки клеевых соединений, задачи и функции, которой определены в работе [2].

В рамках решения задачи по разработки методики автоматизированного проектирования на кафедре «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана блок-схема формирования ТП сборки клеевых соединений с использованием анаэробных материалов. Схема предназначена для выявления закономерностей формирования ТП с целью дальнейшего построения алгоритмов автоматизированного синтеза ТП для различных условий производства, которые в дальнейшем будут использованы при разработке САПР ТП.

На сегодняшний день существует актуальная научная задача повышения эффективности проектных решений, принимаемых при проектировании ТП сборки клеевых соединений, имеющая важное значение для машиностроения РФ. Универсальным инструментом для выполнения указанной задачи является разработка САПР ТП сборки клеевых соединений.

### **Литература**

1. *Игнатов А. В.* Проектирование устройств нанесения клеевых композиций для сборки изделий из алюминиевых сплавов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – №9. – С. 14-22;
2. *Островский Ю.А.* Технологическое обеспечение САПР ТП сборки клеевых соединений // IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ [Электронный ресурс]: материалы Международного морского форума. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. – 1648 с.

**УДК 629.113-233.2-55**

### **РЕГУЛИРОВКА ПРЕДНАТЯГА ПОДШИПНИКОВ ПРИ ИХ ДУПЛЕКСАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФОРМИРУЕМЫХ РАСПОРНЫХ ВТУЛОК.**

Анастасия Сергеевна Самойлова, Иван Андреевич Брежнев

*Студенты 2 курса, специалитет,  
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»  
ФГБОУ ВО «Московский Политехнический Университет»*

*Научный руководитель: И.А. Булавин,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование  
машиностроения»*



В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленный на определение взаимосвязи силы и деформации в деформируемых распорных втулках в зависимости от параметров деформируемого участка, монтажной высоты и их твердости. Для эксперимента были выбраны в заранее аттестованная распорная втулка легкового автомобиля (рисунок 1).

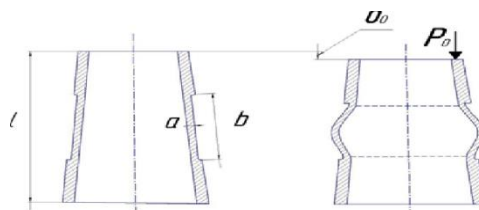


Рисунок 1 - Распорная втулка легкового автомобиля до и после нагружения, где  $a$  - толщина деформируемой части,  $b$  – длина деформируемой части,  $l$  – монтажная высота втулки.

Указанные параметры дистанционных деформируемых втулок при сжатии влияют на характеристику - «сила – деформация», которая показана на рисунке 2 - [1] и [2]. Степень влияния параметров втулки на величину поля компенсации  $V_k$  предлагается представить в виде следующей эмпирической зависимости:

$$V_k = C_1 * a^{x_1} * b^{y_1} * (HRA)^{z_1}$$

Где  $C_1$  – постоянный эмпирический коэффициент,  $X_1$  - показатель степени, определяющий влияние толщины деформируемой части,  $Y_1$  - показатель степени, определяющий влияние длины деформируемой части,  $Z_1$  – показатель степени, определяющий влияние твердости деформированной втулки,  $V_k$  – поле компенсации деформированной дистанционной распорной втулки.

Степень влияния параметров втулки на величину критической силы при деформации втулки предлагается представить в виде следующей эмпирической зависимости:

$$P_k = C_2 * a^{x_2} * b^{y_2} * (HRA)^{z_2}$$

Где  $C_2$  – постоянный эмпирический коэффициент,  $X_2$  - показатель степени, определяющий влияние толщины деформируемой части,  $Y_2$  - показатель степени, определяющий влияние длины деформируемой части,  $Z_2$  – показатель степени, определяющий влияние твердости деформированной втулки,  $P_2$  – критическая сила при деформации дистанционной распорной втулки.

В результате исследования характеристики «сила- деформация» для партии втулок в количестве 100 шт. с предварительной их аттестацией по указанным параметрам с использованием математического аппарата из раздела «Матрицы и определители» и , логарифмируя полученный полиномы, были определены эмпирические зависимости. Исследования проводились на специальном гидравлическом прессе (рисунок 3). Деформацию измеряли с помощью электронно - измерительной системы, с помощью которой контролировали силу. Тарировка датчика силы осуществлялась на гидравлическом прессе с использованием механического динамометра сжатия ДОСМ - 10ТМ и на основе полученных данных была скорректирована шкала измерительного прибора с индуктивным датчиком (рисунок 3).



Рисунок 3 – Исследование деформации втулки и тарировка датчика силы на гидравлическом прессе.

После проводились пробные исследования зависимости силы и деформации, которые показали что созданная экспериментальная установка позволяет успешно проводить исследования в диапазоне линейных деформаций до 5 мм и осевой силы нагружения в диапазоне до 10 тонн (100 Кн).

При выполнении данной работы первоначально проводилось метрологическая экспертиза по параметрам, указанных на рисунке 1. После аттестации втулки подвергались нагружению и было получено семейство кривых, который показаны на рисунке 4. Анализ графиков показывает, что диапазон деформации и сил, при которых начинается разрушение втулки находятся в широких пределах: предельная сила может быть 4,5 тонн (45Кн) - 9, 2 тонн (92 Кн), а диапазон деформаций - от 0,3 мм до 1,5 мм (рисунок 4)

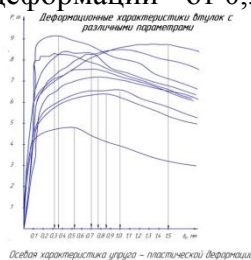


Рисунок 4 - Результаты исследования партии деформируемых втулок по выше указанной методике с использованием описанного оборудования.

Результаты экспериментальных исследований позволили получить эмпирические зависимости для расчета линейной деформации до точки перегиба и расчета критической силы, при которой втулка теряет устойчивость.

*Исходная математическая модель*

$$V_k = C_1 * a^{x1} * b^{y1} * (HRA)^{z1}$$

*Получена эмпирическая зависимость*

$$V_k = 0,32 * a^{0,4} * b^{-0,3} * HRA^{0,6}$$

*Исходная математическая модель*

$$P_k = C_2 * a^{x2} * b^{y2} * (HRA)^{z2}$$

*Получена эмпирическая зависимость*

$$P_k = 1431 * a^{0,43} * b^{-0,33} * (HRA)^{0,62}$$

Рисунок 5 – Результаты экспериментальных исследований – эмпирические зависимости для расчета линейной деформации до точки перегиба и расчета критической силы, при которой втулка теряет устойчивость.

Анализ полученных эмпирических зависимостей показывает, что влияние толщины деформируемой части **a** и твердости HRA прямо пропорциональны, а влияние длины деформируемой части обратно пропорционально.

На заключительном этапе данных исследований была проведена проверка полученных эмпирических зависимостей. Была выбрана втулка со следующими параметрами: толщина деформируемой части **a** = 1,5 мм, длина деформируемой части **b** = 17 мм и твердость втулки, измеренная на механическом твердомере по шкале HRA = 48 единиц.

1. Расчет осевой силы (кг)

$$P_k = C_2 \cdot a^{x_2} \cdot b^{y_2} \cdot (HRA)^{z_2} =$$

$$14,31 \cdot 1,5^{0,43} \cdot 17^{-0,11} \cdot 48^{0,62} =$$

$$14,31 \cdot 1,19 \cdot 0,4 \cdot 11,08 =$$

$$7992 \text{ кг}$$

2. Расчет деформации (мм)

$$V_k = C_1 \cdot a^{x_1} \cdot b^{y_1} \cdot (HRA)^{z_1} =$$

$$1,33 \cdot 1,5^{0,4} \cdot 17^{-0,3} \cdot 48^{0,6} =$$

$$0,23 \cdot 1,17 \cdot 0,43 \cdot 10,2 = 1,18 \text{ мм}$$

Рисунок 13 - Проверка эмпирических зависимостей для втулки с аттестованными параметрами.

После расчета предельная критическая сила, после которой деформируемая втулка теряет свою работоспособность составила  $P_k = 7992$  кг (79,92 кН), а предельная деформация, соответствующая этой силе, получилась  $V_k = 1,18$  мм. Полученные данные были совмещены с графиком, показанном на рисунке 14, на котором выделены некоторая рабочая зона, в которой деформируемые втулки будут годны для выполнения своей функции – дистанционного компенсатора.

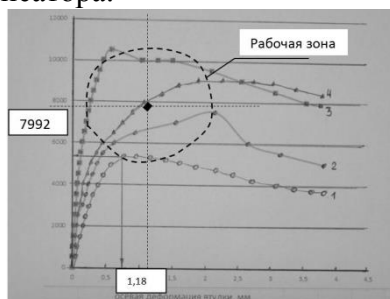


Рисунок 14 - Результаты проверки и сравнения эмпирических и экспериментальных зависимостей силы и деформации при сжатии деформируемых втулок.

Из графика следует, что выбранные характеристики с предельными значениями позволяют выделить некоторую рабочую зону, в которой находится точка с координатами 7992 и 1.18, рассчитанными по полученным эмпирическим зависимостям.

Выводы по проведенным исследованиям: полученные эмпирические зависимости впервые позволяют расчетным путем для частного конструктивного варианта деформируемой втулки определять взаимосвязь параметров деформированного участка и физико-механических свойств с выходными критериями – «поле компенсации» и «критическая сила».

### Литература:

1. Шандров Б.В. Булавин И.А. Самойлова А.С. Факторы, определяющие качество редукторов ведущих мостов транспортных средств. Научно-технический журнал «Автомобильная промышленность» выпуск № 7, 2017 г.
2. Булавин И.А., канд. техн. наук, доцент; Груздев А.Ю., доцент; Будыкин А.В., аспирант. Влияние силовых и деформационных факторов при сборке подшипниковых узлов редукторов автомобилей на точность регулирования преднатяга подшипников. Машиностроитель. 2009 г. №7.
3. Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В. Влияние сил и деформаций звеньев при сборке подшипниковых узлов редукторов автомобилей на точность регулировки преднатяга подшипников. Научно-технический журнал «Техника машиностроения» №2, 2009 г., стр.32-36.

УДК 621.9.06

## **АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ**

Александр Андреевич Троицкий

*Аспирант 3 года*

*кафедра «Технология машиностроения»,*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.М. Базров,*

*доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения  
им. А.А. Благонравова Российской академии наук*

При проектировании изделия одним из этапов является отработка его конструкции на технологичность.

Технологичность конструкции изделия (ТКИ) оценивается по 2 группам показателей основным, к которым относятся трудоёмкость и себестоимость, и дополнительным, к которым относятся коэффициенты технологичности, а именно коэффициенты стандартизации, унификации, повторяемости, типизации, коэффициенты точности обработки и шероховатости поверхности, показатели массы, коэффициент взаимозаменяемости другие.

Для специалиста необходимо знать, какие характеристики конструкции изделия (КИ) следует изменить, чтобы повысить ТКИ, основные показатели технологичности не имеют явной связи с характеристикой конструкции изделия, в отличие от дополнительных показателей. Однако чтобы использовать дополнительные показатели технологичности для совершенствования КИ требуется определить их связь с трудоёмкостью.

Рассмотрим влияние каждого из дополнительных коэффициентов технологичности на трудоёмкость.

Коэффициент сборности определяется, как отношение числа специфицируемых составных частей изделия к общему числу его составных частей. В целом этот коэффициент отражает организацию производства изделия, когда определяются, какие элементы будут изготавливаться на других предприятиях.

Коэффициент стандартизации учитывает количество стандартных деталей и сборочных единиц. Здесь в качестве характеристики конструкции изделия выступает количество стандартных элементов. Их наличие влияет на снижение трудоёмкости технологической подготовки производства (ТПП), поскольку известны технологии их изготовления и их не надо разрабатывать, а снижение трудоёмкости изготовления (ТИ), происходит за счет применения прогрессивных технологий, обусловленных массовостью выпуска стандартных элементов.

В коэффициенте унификации характеристикой конструкции изделия является количество унифицированных узлов и деталей. Наличие унифицированных элементов способствует снижению только трудоёмкости ТПП, т.к. унификация снижает разнообразие элементов. Что касается ТИ, то унификация элементов не влияет на них, т.к. унифицированные элементы изготавливаются как обычные элементы.

В коэффициенте повторяемости составных частей характеристикой конструкции является количество наименований составных частей. Чем меньше значение коэффициента, тем меньше наименований частей в изделии, тем меньше трудоёмкость ТПП и ТИ, за счет увеличения количества одинаковых элементов.

Коэффициент типизации конструктивного исполнения характеризует преимущество данного исполнения изделия по отношению к множеству его исполнений

по составу и структуре, характеристикой конструкции изделия является количество типовых компонентов представителей, наличие их снижает только трудоёмкость ТПП.

Характеристикой конструкции коэффициента взаимозаменяемости, является количество размерных цепей, точность замыкающих звеньев которых достигается методом полной взаимозаменяемости.

Коэффициент точности обработки и шероховатости характеризует средние значения точности и шероховатости поверхностей деталей. Значения коэффициентов отражает влияние точности и шероховатости поверхности детали на ТИ.

Также следует отметить, что в работах, посвященных ТКИ нет единой методики оценки влияния на ТКИ комплексных показателей технологичности.

На практике нашли применение следующие методы оценки ТКИ по комплексным показателям:

- комплексный показатель выражается произведением частных показателей;
- комплексный показатель выражается величиной частных;
- комплексный показатель определяется на основании обработанных опытных статистических данных;
- комплексный показатель определяется по системе баллов;
- комплексный показатель определяют, используя отдельные элементы изложенных выше методов.

На основе проведенного анализа метода оценки ТКИ можно сделать следующие выводы:

1. В коэффициентах стандартизации и унификации учитываются покупные элементы. Это приводит к неточной оценке ТКИ.

2. Коэффициенты повторяемости и типизации учитывают не количество повторяемых и типовых составных частей, а количество их наименований. Что также приводит к неточной оценке ТКИ.

3. Коэффициенты стандартизации, унификации, повторяемости и типизации составных частей в разной степени влияют на снижение трудоёмкости изготовления деталей, так как при одной и той же сумме значений коэффициентов, но при различных соотношениях их значений, снижение трудоёмкости будет разным.

4. В коэффициентах точности обработки и шероховатости не учтены площади поверхностей, к которым предъявляются данные требования. Это приводит к тому, что при одних и тех же значениях коэффициентов величина трудоёмкости может быть разной.

5. Отсутствует единая методика определения комплексного показателя ТКИ.

### **Литература**

1. ГОСТ 14.205-83 «Технологичность конструкции изделий».
2. *Базров Б.М.* Проблема обеспечения технологичности изделия. Научно-технические технологии в машиностроении. 2016. Т. 1. №. 4. С. 30-34.
3. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения Текст. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 56 с.

**УДК 621.865.8**

**МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА БАЗЕ МАНИПУЛЯТОРА ТИПА SCARA**

Никита Игоревич Чаленков<sup>(1)</sup>, Инга Юрьевна Севастьянова<sup>(2)</sup>, Николай Сергеевич Еременко<sup>(3)</sup>

*Аспирант 1 года<sup>(1)</sup>, магистр 1 года<sup>(2)</sup>, студент 3 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Приборные системы и автоматизация технологических процессов»  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»*

*Научный руководитель: О.В. Филипович,  
кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Приборные системы и  
автоматизация технологических процессов»*

SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm – селективный сочлененный робот-манипулятор) – робот, по своему строению имеющий подобие человеческой руки, что позволяет работать в ограниченном пространстве и с высокой скоростью [1].

Мультифункциональный модуль, создаваемый в Севастопольском государственном университете на базе обозначенной выше платформы, будет предназначен для проведения изучения основ робототехники студентами, обучающимися по следующим направлениям: мехатроника и робототехника; автоматизация технологических процессов и производств; приборостроение и смежных с ними, а также школьников.

Помимо дидактического применения, использование данного модуля возможно в промышленности для выполнения: операций сортировки; обработки материалов резанием; 3D печати.

В 2017 году без привлечения внешнего финансирования была создана геометрическая модель и модель динамики движения в среде MapleSim [2], изготовлены комплектующие и собран прототип модуля (рис. 1).

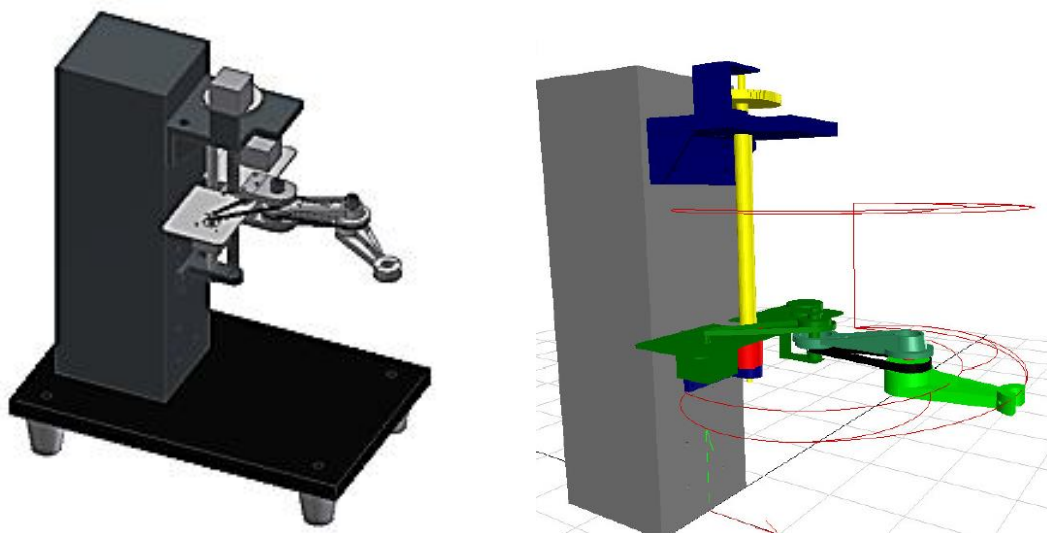


Рис. 1. Геометрическая модель и модель манипулятора типа SCARA в среде MapleSim

Разрабатываемый модуль будет иметь следующие характеристики:

- 1) максимальная масса исполнительного органа – 3 кг;
- 2) число степеней свободы – 3;
- 3) число рабочих органов на руке – 1;
- 4) грузоподъемность – до 0,5 кг;
- 5) масса модуля – 10 кг;

б) время смены исполнительного органа – 120 сек.

Стоимость одного модуля (в зависимости от комплектации) будет колебаться от 70 до 200 тыс. руб. Аналогичные модули на рынке имеют цену от 400 тыс. руб, до 1,5 млн. руб. и, как правило, являются узкоспециализированными.

Предлагается выполнять проектные работы в течении двух лет. В плане реализации создание конструкторской документации, исследования характеристик, создание, разработка экспериментального образца, его сборка и наладка, внедрение в учебный процесс.

### **Литература**

1. Орлов И.А. Синтез движения манипуляционных систем для пространств со сложными связями и ограничениями: дис. ... канд. физ. – мат. наук. М., 2013, 102 стр.
2. Чаленков Н.И., Недождий А.П. Моделирование манипулятора типа SCARA в среде MapleSim // Международная научно-техническая конференция «Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения» (Севастополь, 11 – 15 сентября 2017 г.): тез. докл. Севастополь, 2017. С. 91-93.

### **УДК 629.5.02/06**

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГРЕВА СУДОВЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.**

Виктор Юрьевич Чибисов

*Аспирант 4 курса,  
кафедра «Вычислительная математика и математическая физика»  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.И. Димитриенко,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Вычислительная математика и математическая физика»*

В последнее время отмечается активный всплеск в развитии северных территории России. Все более актуальными становятся задачи такого характера как расширение геологоразведочных работ и увеличения добычи полезных ископаемых. От отечественных проектировщиков судов требуются современные решения сложных прикладных задач. Одной из таких задач является проблема со своевременной диагностикой и профилактикой работоспособности воздухозаборных решеток, ввиду особых условия эксплуатации (обледенение, намерзание, оттаивание и т.п.) Арктических судов. Например, обледенение сужает поперечное сечение воздухозаборных трактов, уменьшает количество поступающего воздуха и, даже в некоторых случаях, может вывести их строя судовую систему вентиляции и привести к тяжелым последствиям. Для решения данной задачи требуется провести численное моделирования процессов теплообмена противообледенительной системы обогрева и сделать верификацию физико-математической модели теплообмена проектных параметров системы обогрева.

При проведении расчетов были использованы следующие методы и средства компьютерного моделирования процессов тепло-и массопереноса:

- методы вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) основанные на совместном решении системы дифференциальных уравнений

- метод конечных объемов- метод численного решения дифференциальных уравнений в частных производных.

При проведении расчетов использовался пакет компьютерного моделирования процессов тепло- и массопереноса FLOTHERM V7.1 (производитель Mentor Graphics), осуществляющий программную реализацию формализма вычислительной гидродинамики (CFD).

Цели компьютерного моделирования:

- оценка оптимального диапазона тепловых нагрузок на греющий кабель для предотвращения обледенения вентиляционных решеток при различных температурах наружного воздуха;

- определение оптимальных толщин жалюзи для минимизации термических сопротивлений с целью наилучшего прогрева решеток.

Энергетический критерий оптимальной конструкции: минимум общей тепловой нагрузки при минимуме удельной мощности на греющий кабель, обеспечивающий режим, препятствующий обледенению.

Из результатов компьютерного моделирования термического состояния вентиляционных решёток при изменении внешней температуры воздуха в диапазоне  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < < -30\text{ }^{\circ}\text{C}$  следует:

1. Вентиляционные решетки с толщиной жалюзи в 3 мм обеспечивают режим, препятствующий обледенению, в диапазоне тепловых нагрузок на греющий кабель, представленных в таблице 2.

2. Оптимальное количество вертикальных ребер жесткости ( $N_{\text{реб}} = 5$ ) и греющих вертикальных кабелей ( $N_{\text{каб}} = 7$ ) для режимов, препятствующих обледенению, определено с учетом минимума удельной мощности на греющий кабель и общей тепловой нагрузки, а также образованием льда.

## Литература

1. *Димитриенко Ю.И., Коряков М.Н., Чибисов В.Ю.* Численное решение сопряженной задачи газодинамики и теплообмена для воздухозаборной решетки с противообледенительной системой// Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/technic/1116.html>

2. *Димитриенко Ю.И., Чибисов В.Ю., Кирчанов А.Г., Ворошилов Р.Ю.* Разработка и испытания противообледенительной системы обогрева судовых воздухозаборных решеток // Инженерный журнал: наука и инновации, 2015, вып.12(48), DOI: 10.18698/2308-6033-2015-12-1453

3. *Кирчанов А.Г., Димитриенко Ю.И., Чибисов В.Ю., Краснов И.К.* СПОСОБ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ЖАЛЮЗИ ВОЗДУХОПРИЕМНОЙ РЕШЕТКИ// патент на изобретение RUS 2563710 23.05.2014

4. *Ерохин Б.Т.* Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ.-М.: Машиностроение, 1991.

5. *Калинин В.В., Ковалев Ю.Н., Липанов А.М.* Нестационарные процессы и методы проектирования узлов РДТТ.-М.: Машиностроение, 1986.

**УДК 621.822**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ**

Антон Юрьевич Шадров

Магистр 1 курса



кафедра «Технология и оборудование машиностроения»  
Московский Политехнический Университет

Научный руководитель: С.Л. Петухов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование  
машиностроения»

Рассмотрим схему измерения текущего размера-радиуса обработанной поверхности заготовки тремя бесконтактными токовихревыми датчиками.

В данном случае предлагается имитационная модель поверхности вращения в виде ортогональных полиномов, включающих ортогональные полиномы Чебышева:

$$\Delta R(z, \varphi) \approx A_{0,0} + \sum_{i=1}^n A_{i,0} \cdot P_l^{(i)}(z) + \sum_{j=1}^k A_{0,j} \cdot \cos(j, \varphi + \varphi_{0,j}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k A_{i,j} \cdot P_l^{(i)}(z) \cdot \cos(j\varphi + \varphi_{i,j})$$

где:  $z, \varphi$  – осевая и угловая координаты, вычисленные в узловых точках,

$A_{ij}, \varphi_{ij}$  – коэффициенты и фазовые углы математической модели;

$P_l^{(i)}(z)$  – ортогональные многочлены.

Для замеров используются три токовихревых датчика. На рис. 2 показано устройство такого датчика. На ферритовом сердечнике 1 находится многослойная обмотка 2 с нанесенным защитным покрытием 3. В герметичном стальном корпусе 4, закрытом со стороны кабеля 10 крышкой 5, смонтированы сам датчик, генератор колебаний, буферный усилитель и электронная схема 8, залитая компаундом 9. Корпус закрепляется на резцедержателе станка с помощью центрирующей пластины 6, закрепленной винтами 7.

Датчик работает следующим образом: при изменении зазора между сердечником датчика и измеряемой поверхностью изменяется индуктивность катушки и частота колебаний, вырабатываемых генератором. Частично модулированный сигнал усиливается буферным усилителем и поступает на выход устройства.

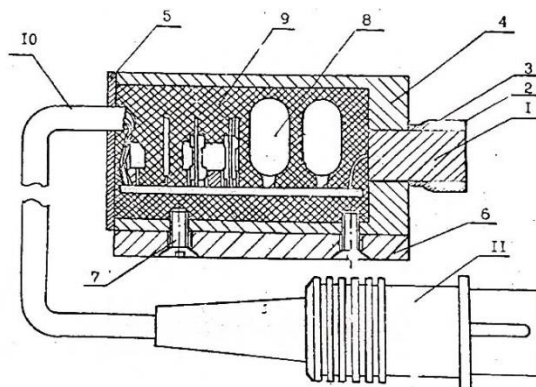
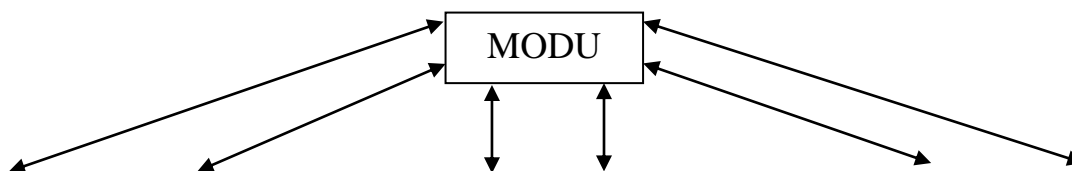


Рис. 2 Вид и устройство токовихревого датчика

Для расчета и анализа математической модели поверхности вращения используется специальная программа MODU. Время расчета математической модели исследуемой поверхности может занимать от 1 минуты, в зависимости от количества узловых точек. Структурная схема программы представлена на рис. 3



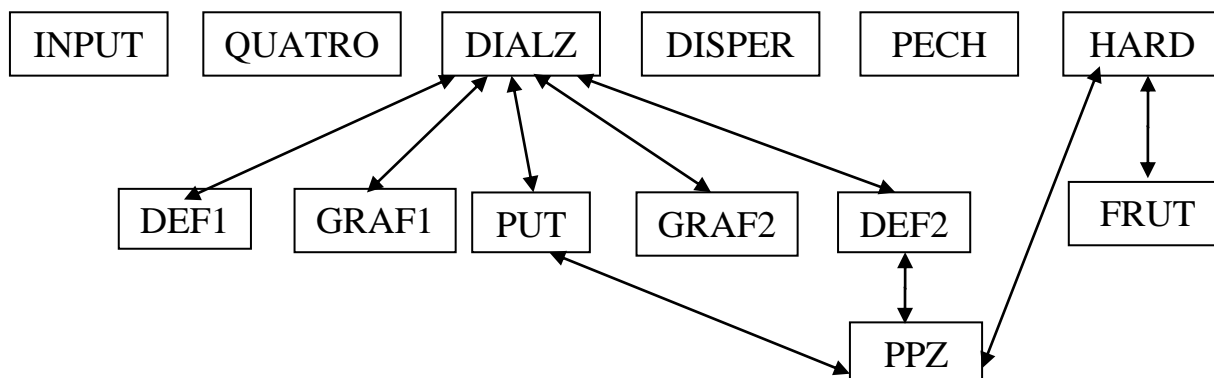


Рис. 3 – Структурная схема программы

**INPUT** – ввод исходной информации

**DISPER** – дисперсионный анализ

**HARD** – расчет коэффициентов математической модели

**QUATRO** – проверка гипотезы об адекватности математической модели

**PECH** – вывод уравнения математической модели на печать

**DIALZ** – работа с моделью в диалоговом окне

**FRUT** – проверка коэффициентов на значимость

**PUT** – расчет по модели текущих размеров при фиксированных координатах

**DEF1** – расчет уравнений продольных профилей

**DEF2** – расчет уравнений поперечных профилей

**GRAF1** – вывод продольных профилей на терминал

**GRAF2** – вывод поперечных профилей на терминал

**PPZ** – расчет ортогональных многочленов Чебышева

Данные, полученный в процессе измерений, организуются в виде файла с исходными данными. Используя данный файл, программа рассчитывает математическую модель исследуемой поверхности детали и проводит ее машинный анализ. В результате выявляются отклонения формы в продольных и поперечных сечениях, определяются значения данных отклонений и делаются выводы о причинах их возникновения.

### Литература

1. *Копылов Л.В., Петухов С.Л., Бухтеева И.В., Феофанов А.Н.* Повышение точности обеспечения функционального показателя роторных агрегатов // *Технология машиностроения*. 2015. №3(153).
2. *Митрофанов В.Г.* Канал связи как модуль производственной системы // *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2010. №4.

УДК 621.01

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ – ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Никита Игоревич Шепель, Сергей Евгеньевич Каминский

*Магистры 2 года*

*кафедра «Технология машиностроения»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.Ф. Лукьянец,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»*

Автоматизация проектирования предусматривает очень четкую формализацию и алгоритмизацию решаемых задач. Формализация и алгоритмизация дело трудоемкое и автоматизируются только часто используемые, однотипные и трудоемкие процедуры, для которых стоимость разработки программного продукта обеспечивает высокую рентабельность. В данной статье предлагается методика и средства повышения эффективности обучения, достигаемые в процессе формализации предметных знаний.

В основе методики лежит формальная модель принятия типового инженерного решения. Процесс достаточно очевиден и используется всегда, когда необходимо определить значения выходных параметров по заданным исходным условиям. Процесс начинается с выяснения того, что надо дополнительно узнать, чтобы получить требуемый результат. Затем уточняются исходные данные: определяются недостающие параметры и уже для них выясняется то, что надо узнать, и так далее. Особо подчеркнем, что моделируются именно типовые инженерные решения, к которым относится большинство практических задач не связанных и изобретательством. Цель типового решения - не оригинальное решение и получение новых знаний, а качественное решение, как комбинация наиболее подходящих и уместных решений полученных на основе накопленного опыта предыдущих разработок. При этом используется имеющаяся нормативно-справочная документация и типовые методики.

Процесс принятия инженерного решения состоит из отдельных фрагментов. Каждый фрагмент решения представляет собой отдельную подзадачу, которая в свою очередь может быть разделена на более мелкие подзадачи. Такое деление приведет, в конце концов, к одной формуле, нормативно-справочной таблице, формулировке правила выбора направления расчетов (выбора следующей таблицы, или формулы, или раздела методики). Целесообразность деления задачи на составные части определяется обзримостью фрагмента решения и однородностью принимаемого решения в рамках направления процесса поиска решения. Другими словами результатом вычисления формулы или решения из таблицы должно быть (как правило) только одно значение параметра определяющего направление дальнейшего решения или используемого в другой формуле, или для выбора входа в другой таблице. Если фрагмент решения определяет сразу несколько значений параметров, которые могут быть использованы по отдельности, то такой фрагмент решения должен быть подвергнут дальнейшему разделению.

Основной особенностью лабораторного практикума «Автоматизация проектирования технологических комплексов» является его многовариантность – то есть возможность использовать в качестве предмета изучения разнообразные нормативно-справочные материалы без серьезной предварительной подготовки и адаптации их для целей обучения. Фактически параллельно решаются несколько задач. Во-первых, учащиеся приобретают навыки формализации знаний в определенной предметной области. Во-вторых, в ходе формализации расширяется кругозор учащихся, и закрепляются теоретические знания. В-третьих, формируется база знаний, которая будет дорабатываться в ходе выполнения лабораторных работ следующими группами учащихся.

В-четвертых, наполняемая в ходе лабораторных работ база знаний может использоваться для автоматизации решения реальных прикладных задач.

В качестве основы для лабораторного практикума "Автоматизация проектирования технологических комплексов" используются справочные материалы. В состав этих нормативно-справочных материалов входит методика нормирования времени на выполнение слесарных работ по ремонту оборудования и около 200 нормативных карт содержащих, описание технологических переходов, формулы для расчетов и поправочные коэффициенты к ним.

Лабораторные работы построены по принципу повторения действий по образцу. На примере одного нормативного документа демонстрируется полный цикл формализации частного инженерного решения. Параллельно учащиеся выполняют аналогичные действия по индивидуальному заданию. Учитывая, объем накопленного практического и теоретического опыта отраженного в учебной литературе и нормативно-справочных материалах, разнообразие индивидуальных заданий практически не ограничено.

В качестве образца, на котором поясняются все аспекты формализации, используется характерный представитель исходного нормативного документа Карта 22 "Раскрепление цилиндрических и конических штифтов". Любая из 199 оставшихся нормативных карт и фрагменты методики расчетов могут быть использованы в качестве индивидуальных заданий.

### **Литература**

1. *Юровский С.А.* Общемашиностроительные нормативы времени на слесарные работы по ремонту оборудования. – М.: Экономика, 1989. – 236 с.
2. *Лукьянец О.Ф., Каминский С.Е., Деев О.М.* Формализация технологических знаний при разработке автоматизированных систем. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 140 с.

**УДК 658.5.012**

## **СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТОВАНИЯ НАБОРОВ МАСЛЯНОЙ ПАСТЕЛИ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ**

Руслан Уланович Штыбаев

*Студент 2 курса, специалитет  
кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»  
Московского политехнического университета*

*Научный руководитель: В. М. Аббясов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры "Технологии и оборудование  
машиностроения"*

Целью представленной работы является компоновка сортировочной станции автоматизированного производства наборов масляной пастели наборами по 12, 18, 24 и 36 штук (объемом по 53539, 21043, 19431 и 10000 наборов в год) для предприятия «Гамма».

После изготовления и этикетирования карандаши поступают на позицию сортировки, которая включает два конвейера и стеллаж для установки контейнеров с одноцветными карандашами.

Линия сортировки состоит из верхнего конвейера с контейнерами одноцветных карандашей, число которых соответствует числу цветов карандашей из выпускаемого на

линии в данный момент набора, и нижнего конвейера с коробками для собираемых наборов.

На верхнем конвейере имеется консоль, на которую выталкивается на определенную позицию контейнер с карандашами определенного цвета. В этом контейнере в днище имеется прорезь, совпадающая с пазом в консоли и местом в коробке на нижнем конвейере для подаваемого из контейнера карандаша. Автоматизирующие устройства запрограммированы укладывать в коробку определенное число карандашей заданного цвета в зависимости от собираемого набора и упаковки по 12, 16, 18, 24 и 36 цветов.

Встроенные на конвейере весы с тензометрическим датчиком измеряют вес каждой коробки. Если вес неверный – коробка удаляется с конвейера на позицию исправления брака, и в нее добавляется недостающий карандаш.

Конвейер не только механизует передвижение контейнеров по позициям. Но равномерным своим перемещением обуславливает ритмичность и непрерывность процесса. Параметры конвейерных поточных линий (такт, скорость движения несущего органа и его длина, шаг конвейера и др.) выбираются и рассчитываются в зависимости от организационной структуры производственного процесса и характера перемещения изделий на поточной линии.

Т.к. за каждое движение транспортера изделие перемещается на один шаг то по характеру движения груза выбрано конвейерное устройство с периодическими остановками (прерывистое движение) – шаговый конвейер

Управление приводом конвейера сводится к пуску, остановке для выполнения определенной технологической операции после ее выполнения к очередному пуску для перемещения контейнеров по указанным позициям (рабочим местам).

Разработанная автоматизированная линия позволит освободить значительное количество ручного труда, скомплектована в основном из отечественного оборудования и обеспечит требуемую экономическую эффективность для заданной программы выпуска.

## **Литература**

1. *Аббясов В.М., Бухтеева И.В., Елхов П.Е.* Предварительный выбор и оптимизация надежности автоматического сборочного оборудования // "Сборка в машиностроении, приборостроении". 2009. №5. С.28-33.
2. *Пертена Ю. А.* Конвейеры. Справочник. Москва: Машиностроение, 1984. 367 с.

**УДК 65.012.122**

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Полина Андреевна Шуста

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Технология проектирования и эксплуатации двигателей летательных аппаратов»*

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*

*Научный руководитель: В.В. Курицына,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология проектирования и эксплуатации двигателей летательных аппаратов»*

В статье рассмотрена модернизация производства за счет создания новых и совершенствования существующих технологических процессов (технологий) изготовления продукции.

Цель данной работы – выявление факторов, в наибольшей степени влияющих на качество и сроки разработки технологических процессов.

Для достижения цели работы были поставлены следующие задачи:

- 1) Анализ производимых деталей и деталей, которые только будут производиться;
- 2) Изучение имеющихся технологических процессов;
- 3) Изучение оборудования.

В ходе данной работы проведен последовательный анализ модернизированных технологических процессов группы деталей разной сложности, входящих в одно изделие. В процессе этого был выявлен алгоритм разработки технологии, схематично представленный на рисунке 1.

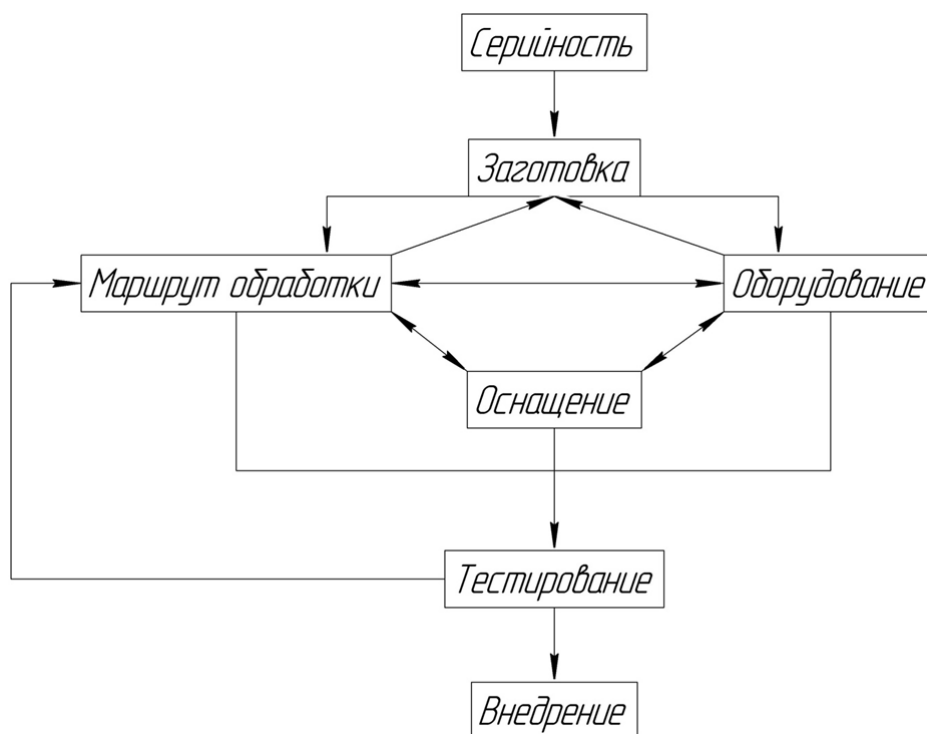


Рисунок 1. Алгоритм разработки технологического процесса.

Ключевыми элементами данного алгоритма являются:

- заготовка – уточнение материала заготовки, а также определение ее вида (пруток, поковка, литье) и габаритов;
- оборудование – технические характеристики располагаемого оборудования.

Обращаясь к принципу Парето, согласно которому: «20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата», получаем, что тщательная проработка указанных элементов позволит достигнуть значительного успеха в достижении поставленной цели.

## Литература

1. *Ред. совет: А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, А.Г. Сулов.* Справочник технолога-машиностроителя. Т.1-2. – Москва: Машиностроение, 2001.
2. *Р.Кох.* Принцип 80/20. – Минск: Попурри, 2004. – 352с.
3. *Ред. совет: К. В. Фролов (пред. ) и др /Под общ. ред. А. В. Мухина.* Машиностроение. Энциклопедия. Том III-1. Технологическая подготовка производства - М., Машиностроение, 2005. - 576 с.

#### **Секция IV**

##### **Метрология и взаимозаменяемость**

Председатель:

**Пронякин Владимир Ильич**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-4

Ученый секретарь:

**Комшин Александр Сергеевич**

доктор технических наук, доцент кафедры МТ-4



**УДК 53.089.6**

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТОКАРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Дмитрий Дмитриевич Болдасов

*Магистр 2 года*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Оценка состояния приборов очень важна для уверенности в корректности получаемых результатов. В первую очередь это обеспечивает точность измерений в пределах технических характеристик средства измерения. Регулярные проведения оценки состояния, например, калибровки, служит для поддержания исправности и производительности прибора.

В ФЗ №102 регламентированы сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений. Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, которые выполняются при деятельности в области здравоохранения, охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда, экономической, налоговой и иной торгово-финансовой деятельности, оценки соответствия и т.д. (подробнее см. [1]).

Разрабатываемое СИ используется в области технологического обеспечения производства. В соответствии с этим средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке [1].

Калибровка осуществляется комплектно или поэлементно. При комплектной калибровке средство измерений калибруют в полном комплекте его составных частей, без нарушения взаимосвязи между ними. Погрешности, которые при этом определяют, рассматривают как погрешности, свойственные калибруемому средству измерений как единому целому. При этом средство измерений находится в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, что позволяет в ходе калибровки попутно выявить многие присущие калибруемому средству измерений недостатки: дефекты внутреннего монтажа, неисправности переключающих устройств и т.п. С учетом простоты и хорошей достоверности результатов комплектной калибровке всегда, когда это возможно, отдают предпочтение [2].

В случае невозможности реализации комплектной калибровки, ввиду отсутствия образцовых средств измерений, несоответствия их требованиям точности или пределам измерений, применяют поэлементную калибровку. Поэлементная калибровка средства измерений - это калибровка, при которой его погрешности определяют по погрешностям отдельных частей. Затем по полученным данным расчетом определяют погрешности, свойственные калибруемому средству измерений как единому целому. При этом предполагают, что закономерности взаимодействия отдельных частей средства измерений точно известны, а возможности посторонних влияний на его показания исключены или поддаются точному учету [3].

Фазохронометрическая система, для которой разрабатывается методика калибровки, состоит из двух основных модулей: первичный преобразователь (ЛИР-158А) и блок формирования временных интервалов. Данные угловые энкодеры изготавливаются

по ГОСТ 26242-90 «Преобразователи перемещений. Общие технические условия» и при выпуске из производства подлежат контролю. По большинству параметров контроль выполняет ОТК предприятия. Контроль точностных характеристик выполняется на установках для контроля точностных характеристик в соответствии с разработанными на предприятии методиками контроля. Результаты контроля отражаются в принятии решения «соответствует установленным требованиям» или «не соответствует установленным требованиям». Положительное решение регистрируется в паспорте изделия и подтверждается штампом ОТК.

Для данных преобразователей разработана методика поверки «Преобразователи угловых перемещений ЛИР-158. Методы и средства поверки» [4], которая предполагает использование уникального и сложного (так как поддержание стабильного числа механических оборотов влечет за собой высокие требования к конструктивным параметрам и параметрам стабильности электрического тока) оборудования (установка тахометрическая УТ05-60), поэтому комплектная калибровка является технически сложно реализуемой и экономически невыгодной (необходимость снятия системы со станка, транспортировка к месту калибровки), поэтому в данном случае отдается предпочтение поэлементной калибровке.



Рис. 1. Установка тахометрическая УТ05-60

Следует отметить, что при калибровке и энкодера, и генератора используется метод непосредственного сличения.

Этот метод широко применяется при калибровке различных средств измерений. Например, в области электрических и магнитных измерений этот метод применяют при определении метрологических характеристик измерительных приборов непосредственной оценки, предназначенных для измерения тока, напряжения, частоты и т.д.; в области измерения механических величин, в частности, давления. Основой метода служит одновременное измерение одного и того же значения физических величин  $X$  аналогичным по роду измеряемой величины поверяемым и образцовым приборами. При поверке данным методом устанавливают требуемое значение  $X$ , затем сравнивают показания калибруемого прибора  $X$  с показаниями  $X_0$  образцового и определяют разность  $D = X - X_0$ .

Достоинства метода непосредственного сличения: простота, отсутствие необходимости применения сложного оборудования и др.

При проведении калибровки предлагается сравнивать показания калибруемого энкодера ЛИР-158А 5 класса точности ( $\pm 15''$ ) с показаниями прецизионного энкодера (рабочий эталон), например, ЛИР-1170 2 класса точности ( $\pm 1,5''$ ).



Рис. 2. Энкодер ЛИР-1170

Данный способ, во-первых, реализуется с помощью датчика одного производителя (то есть типы сигнала унифицированы), а также для данного энкодера существует утвержденная методика поверки. Для использования в данной схеме калибровки прецизионный энкодер должен быть поверен согласно своей методике поверки.

Схема предлагаемой методики представлена на рисунке 3. К шаговому двигателю (1) с двумя выходными валами через муфты (2) присоединяются энкодеры ЛИР-1170 (3) и ЛИР-158А (4). На шаговый двигатель подается управляющий сигнал с Блока управления и обработки (5), вал двигателя делает поворот на заданный угол. Измерения проводятся в десяти точках, равномерно распределенных по всему диапазону измерений [5]. Показания обоих энкодеров в каждой точке записываются и обрабатываются Блоком (5). В качестве Блока (5) может использоваться Блок формирования временных интервалов (с двумя разъемами для энкодеров и двумя каналами для передачи данных) при условии его предварительной калибровки. Обработка результатов проводится согласно ГОСТ 8.207-76 [6] с обязательной проверкой результатов измерений на соответствие нормальному закону распределения.

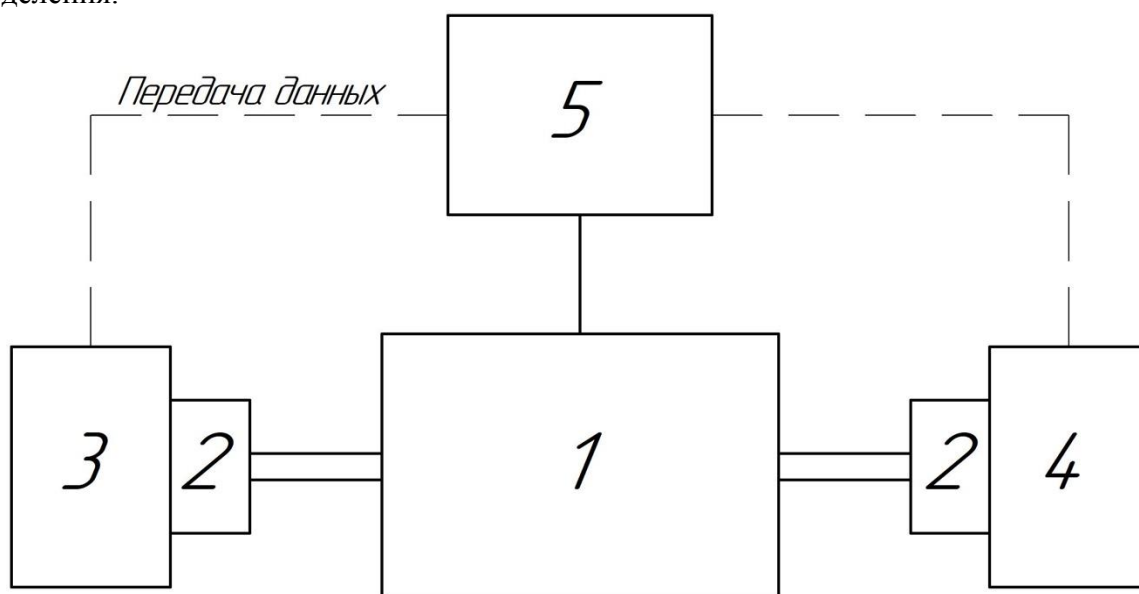


Рис. 3. Схема калибровки энкодера ЛИР-158А

Для проведения калибровки кварцевого генератора в качестве рабочего эталона предлагается применять высокостабильный генератор сигналов, например, генератор 33611А производителя Keysight Technologies Microwave Products (Свидетельство №57738 об утверждении типа средства измерений).

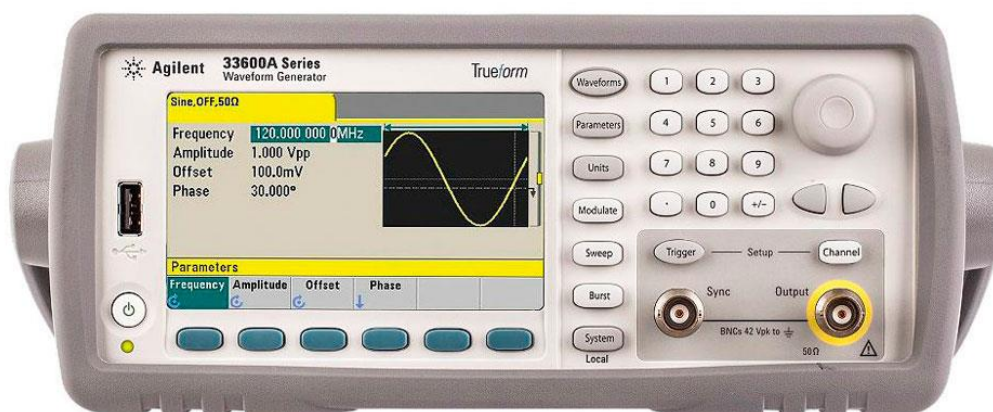


Рис. 4. Генератор 33611А

Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики

генератора

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Диапазон частот синусоидального сигнала, МГц	от $10^{-9}$ до 80
2	Стабильность частоты сигнала, %	1
3	Погрешность амплитуды сигнала, Гц	$\pm (1 \cdot 10^{-6} F + 15 \text{ пГц})$ , F - установленное значение частоты сигнала
4	Разрешение установки частоты, мГц	1

На вход измерительного блока подается синусоидальный сигнал с амплитудой 1 В. Диапазон рабочих частот выберем от 60 до 3000 об/мин, соответствующий диапазон частот, подаваемых с генератора от 1 до 60 Гц. Для реализации многократных измерений разобьем диапазон на 10 точек измерения и проведем по 10 измерений в каждой точке. Обработка результатов проводится согласно ГОСТ 8.207-76 с обязательной проверкой результатов измерений на соответствие нормальному закону распределения.

Разработанная методика калибровки позволяет оценить текущие характеристики фазохронометрической системы на месте ее непосредственного использования, тем самым уменьшая время простоя связанного оборудования за счет исключения времени транспортировки до калибровочной установки. Также возможно отслеживание деградации точностных характеристик системы во времени и ее учет при последующих калибровках, а также корректировка рекомендуемого межкалибровочного интервала.

### Литература

1. Федеральный закон N 102-ФЗ (ред. от 13.07.2015). Об обеспечении единства измерений. Утв. 26.06.2008. 19с.
2. МИ 188-86. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки. Утв. 1986-06-25. М.: Изд-во стандартов, 1987. 25 с.

3. ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерения. Правила по метрологии. Порядок проведения поверки средств измерений. Утв. 1994-07-21. М.: Госстандарт России, 1994. 8 с.
4. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.27.042.A №42407. Преобразователи угловых перемещений ЛИР-158. От 2011.04.07. С приложением на 3 с.
5. МП 2511/0010-15. Методика поверки. Преобразователи угла поворота измерительные KINAX WT 717-12190E0020M00. Утв. 2015-10-28. 5 с.
6. ГОСТ 26242-90. Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия. Введ. 1991-01-01. М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. 14 с.

### **УДК 006.91**

## **РАЗРАБОТКА БЕСКОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Анастасия Игоревна Дворецкая

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Научный руководитель: А.С. Комшин  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Современное машиностроительное производство должно быть высокопроизводительным и обеспечивать заданный уровень качества продукции. При серийном и массовом производстве эти условия могут быть обеспечены на основе автоматизации производства и взаимозаменяемости продукции.

Цель работы заключается в разработке современной бесконтактной системы контроля и измерения цилиндрических деталей, а так же в ее автоматизации на производстве.

Объектом контроля является цилиндрическая деталь в виде тихоходного вала.

В начале работы был проведен анализ универсальных средств измерений в соответствии с РД 50 – 98 – 86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051- 81)».

Так как в настоящее время в производстве необходимо обеспечивать высокую точность измерения и контроля деталей, происходит внедрение бесконтактных систем, которые справляются с поставленными задачами с наименьшей погрешностью.

В процессе изучения бесконтактных приборов были выбраны: бесконтактный профилометр для контроля шероховатости поверхности; лазерный микрометр для контроля отклонения формы (и определения линейных размеров); индуктивные датчики для контроля отклонения формы. Так же были рассмотрены достоинства и недостатки приборов.

Следующий этап состоял в выборе системы базирования детали и проводился расчет погрешности базирования. По результатам расчетов оптимальной схемой базирования является призматическая система с углом призмы 180 градусов.

Вследствие проведенного анализа составляется структурная схема установки.

В процессе данной работы были проведены теоретические исследования и анализ средств измерения для бесконтактной системы контроля цилиндрических деталей. Был проведен расчет погрешностей базирования и выбрана оптимальная схема. По результатам анализа спроектирована структурная схема установки. Для автоматизации процесса контроля используется промышленный робот.

По итогам работы проводился расчет вероятности ошибок первого и второго рода.

Данная система на сегодняшний день не была применена на производстве. Для наилучшего результата возможно продолжение рассматривания данной тематики.

### **Литература**

1. *Шачнев Ю.А.* Технология контроля. М.: Метрология и взаимозаменяемость.
2. *РД 50 – 98 – 86.* Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051- 81). М.: Издательство стандартов, 1987. 86 с.
3. *Каталог продукции компании Mitutoyo.* Измерительные инструменты и метрологическое оборудование. 2015. 644 с.

**УДК 006.91.531.7**

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ**

Алина Эдуардовна Дмитриева

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Комшин,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Цилиндрический редуктор – самый распространенный тип редукторов за счет простоты передачи и максимального КПД. Сложно назвать область, где бы они ни применялись в большей и меньшей степени, начиная от строительства и машиностроения, заканчивая робототехникой и военно-промышленным комплексом. Во многом такая распространенность объясняется тем, что цилиндрические редукторы чаще всего используются в электроприводах машин или входят в состав моторов-редукторов.

Основными показателями качества, находящегося в эксплуатации редуктора, считаются надежность и долговечность зубчатой передачи, плавность и бесшумность ее работы, отсутствие ненормальной вибрации, перегрева масла, высокая экономичность, удобство эксплуатации и ремонта редуктора.

В настоящее время существует множество методов контроля зубчатых передач в редукторе, но у них есть один существенный недостаток, все эти методы нельзя применять к редуктору в процессе эксплуатации.

Цель работы – разработка новой, совершенно отличной от существующих, системы контроля параметров функционирования зубчатых передач.

Задачи:

1. Разработка метода неразрушающего контроля для определения дефектов зубчатой передачи редуктора в процессе его эксплуатации.
2. Проектирование стенда для реализации метода контроля.
3. Оценка параметров дефектов, которые возможно обнаружить данным методом.

В начале работы были рассмотрены дифференциальные и комплексные показатели зубчатых передач.

К дифференциальным показателям относятся: смещение исходного контура, толщина зуба, длина общей нормали, окружные и основные шаги, радиальное биение, погрешность профиля.

К комплексным показателям относятся кинематическая погрешность (наибольшая и местная) и измерительное межосевое расстояние. Комплексные показатели характеризуют точность зубчатого колеса и передач в условиях более близких к эксплуатационным, чем дифференциальные показатели.

Рассмотрев существующие методы контроля, видим, что их можно использовать только при неподвижном состоянии зубчатой передачи. Как можно осуществить контроль зубчатой передачи в процессе эксплуатации редуктора? Для этого была разработана новая система, основанная на высокочастотном методе контроля. Одним из важнейших преимуществ данной системы контроля является определение дефектов движущихся частей зубчатой передачи в процессе эксплуатации.

Идея метода заключается в подаче тока высокой частоты на вращающуюся зубчатую передачу бесконтактным способом, далее при помощи датчиков температуры и частоты вращения происходит съем информации и ее последующий анализ. Для этого была спроектирована структурная схема и стенд для реализации метода контроля.

В дальнейшем совокупность полученных данных с датчиков даст возможность определить появления дефектов в зубчатой передаче. Для этого необходимо будет произвести расчет размеров дефектов, которые могут появиться в зубчатой передаче, как внешних, так и внутренних.

### **Литература**

1. Русов В. А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – 2012.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с
3. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин. Учеб. пособие для машиностроит. вузов. Изд. 2-е, переработ. М., «Высш. школа», 1970. - 368 с. с илл.

### **УДК**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Дарья Михайловна Иванова

*Магистр 1 года,*

*кафедра « Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М. И. Киселев,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

История техники свидетельствует, что качественный скачок в развитии ракетной техники, наступил после того, как скорость выполнения математических операций счетно-решающими средствами первых поколений, которые должны были обеспечить управление полетом ракеты, начала обгонять скорость полета.

Похожее положение складывается в настоящее время. Возрастает необходимость оперативного (экстренного) математического обеспечения функционирования технических систем, отличающихся минимально короткой (до единиц сотых секунды) продолжительностью рабочего цикла (оборота). Известно, что подобные машины циклического действия – газотурбины - находят все больше применения при перекачке, в качестве приводов, природного газа по трубопроводу и на железнодорожном транспорте.

Поэтому, оперативное высокоскоростное автоматическое определение последовательности пространственно-временной структуры таких быстропротекающих циклов приобретают все большее значение.

В докладе приведены результаты разработки высокоскоростных вычислительных алгоритмов, реализующих эти измерения.

### **Литература**

1. *Сигнаевский В.А., Коган Я.А.* Методы оценки быстродействия вычислительных систем. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991-256с
2. *Киселёв М.И., Пронякин В.И.* Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. №9. С. 15-18.

### **УДК 520**

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА БТА**

Капитолина Игоревна Короткова

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.В. Сычев,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Крупнейший в Евразии телескоп БТА обладает низкой эффективностью по причине температурной деформации главного зеркала телескопа массой 42 тонны [1]. Допустимые отклонения поверхности главного зеркала, имеющей форму параболоида вращения с радиусом кривизны 48 метров, от ее теоретического вида не должны превышать для видимой области спектра  $\lambda/20$ , обеспечение этого требования рождает большие технические проблемы в части их реализации.

С целью контроля деформации разработана система контроля (рис. 1), основанная на методе псевдообращения. Основным достоинством данного метода является нерасстариваемость, что было доказано при его реализации в отечественном адаптивном телескопе АСТ-1200 с составным главным зеркалом [2].



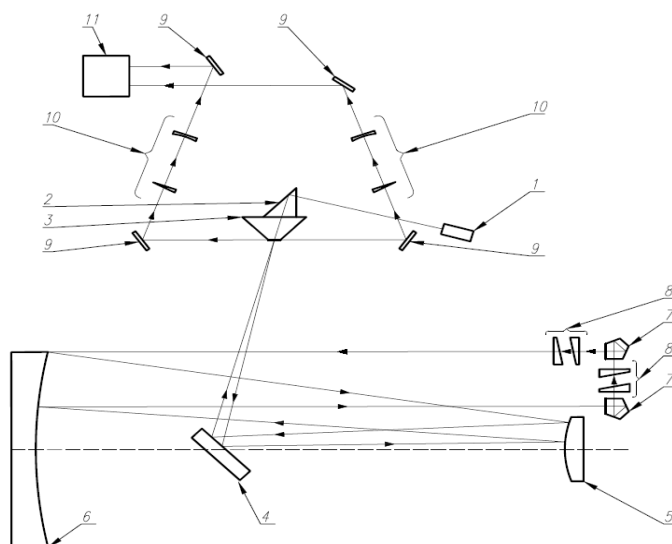


Рис. 1. Система контроля деформации главного зеркала телескопа БТА

При контроле деформации главного зеркала телескопа используется He-Ne-лазер 1, излучение которого вводится в схему телескопа через плоскую вершину усеченной призмы с зеркальными гранями 2, расположенной в фокальной плоскости телескопа вне поля изображения. После прохождения луча через оптическую систему, опорный луч фиксируется на поверхности главного зеркала 6. Луч, отраженный от контролируемой точки на поверхности главного зеркала 6, фокусируется на вершине призмы. При отсутствии углового рассогласования между опорной и контролируемой точками, на противоположные грани призмы попадают равные по величине потоки контрольного излучения.

В предложенной системе контроля выходящий и возвращенный пучки идут практически по одному и тому же пути с небольшим пространственным смещением, обеспечивая этим сначала отражение от опорной поверхности выходящего пучка, а затем – от контрольной точки на поверхности зеркала возвращенного пучка.

### Литература

1. Сычев В.В. К вопросу об эффективности крупногабаритных оптических телескопов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 1. DOI: 10.7463/0115.0754723
2. Сычев В.В. Адаптивные оптические системы в крупногабаритном телескопостроении: монография. Старый Оскол: Изд-во «Тонкие наукоемкие технологии», 2005. 55-60с.

УДК 53.08, 681.518

## АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

Анастасия Алексеевна Крансуцкая

Магистр 2 года,

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.В. Тумакова,

ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Испытанием называется экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, а также моделировании объекта и (или) воздействий [1]. Экспериментальное определение характеристик свойств объекта при испытаниях может проводиться путем использования измерений, оценивания и контроля.

При измерениях с целью испытания продукции проводится их проектирование:

- постановка задачи;
- выбор показателей точности измерений;
- выбор числа измерений, метода и СИ;
- планирование экспериментов;
- проверка гипотез;
- анализ измерений;
- анализ надежности;
- выборочный контроль;
- моделирование;
- анализ временных рядов.

Все эти вопросы отражаются в методике выполнения измерений (МВИ). Методика выполнения измерений — это совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности [2]. Так как точность определяется не только метрологическими характеристиками средств измерений, но и условиями проведения измерений, ошибкой оператора и другими причинами, следовательно, методики выполнения измерений необходимо разрабатывать применительно к конкретным условиям проведения измерения с использованием конкретных средств.

Для исследования электромеханических систем был разработан фазохронометрический стенд, который предназначен для проведения измерений и экспериментов на асинхронном электродвигателе с помощью фазохронометрической системы. При использовании этой системы, информация об объекте содержится в вариациях продолжительности временных интервалов, соответствующих прохождению интервалов (квантов) фаз рабочего цикла. Вследствие погрешности сборки электродвигателя, непостоянства сил, воздействующих на вал электродвигателя и др., в вариациях продолжительности временных интервалов содержится информация о техническом состоянии электродвигателя, которая используется для выявления дефектов как механической, так и электрической части электродвигателя [3]. Для проведения измерительных экспериментов на фазохронометрическом стенде, а также лабораторных работ в рамках учебного процесса, необходимо описать совокупность операций и правил, которая позволяет получить результат с известной точностью.

### Литература

1. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Введ. 01.01.1982. М.: Стандартинформ, 2011. 22 с.
2. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. Введ. 14.04.2010. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с.
3. *Ермаков К.С., Тумакова Е.В.* Информационно-измерительная система для контроля электрических и механических параметров электродвигателя // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2015. № 10, с. 211–220. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/820865.html> (дата обращения 12.12.2017).

УДК 621.717

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА ПОДШИПНИКА ПО ОСЕВОМУ ЗАЗОРУ**

Анна Сергеевна Лопатина

Магистр 2 года

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.Н. Сорокин,

доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

В работе показана аналитическая зависимость между радиальным зазором и осевым смещением внутреннего кольца шарикоподшипника.

На рисунке 1 показано начальное положение шарика (положение 1) относительно наружного и внутреннего колец подшипника.

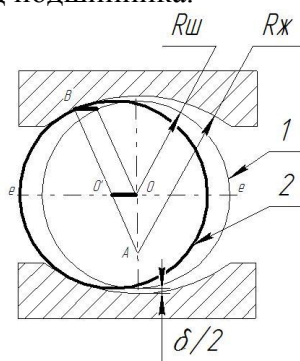


Рис. 1. Положение шарика

Радиальный зазор в подшипнике равен  $\delta$ . Шарик имеет зазоры с наружным кольцом подшипника, равным  $\delta/2$ . Такой же зазор имеет шарик и с внутренним кольцом. Шарик перемещается на рисунке 1 в сторону наружного кольца. Шарик перемещается до тех пор, пока не достигнет точки В – точки контакта дорожки качения наружного кольца подшипника (положение 2). В точке контакта В радиус шарика совпадает с радиусом желоба наружного кольца и перпендикулярен поверхности наружного желоба наружного кольца. До точки контакта В шарик прошел расстояние  $OO'$ . В результате перемещения получается треугольник  $O'OA$ , где

$$\begin{aligned} O'A &= R_{ж} - R_{ш} \\ OA &= R_{ж} - R_{ш} - \delta/2 \\ O'O &= e \end{aligned}$$

Параметры подшипника  $\delta$  и  $e$  связаны соотношением (рисунок 2)

$$(R_{ж} - R_{ш})^2 = e^2 + (R_{ж} - R_{ш} - \delta/2)^2$$

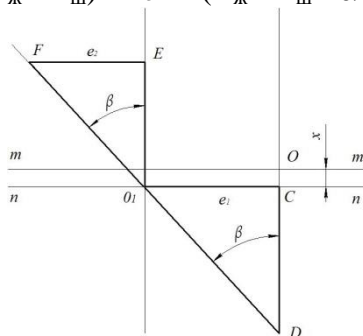


Рис. 2. Геометрическая связь

Если  $R_{ж}^D = R_{ж}^B = R_{ж}$ , то подобные рассуждения можем отнести и для внутреннего кольца подшипника. Тогда осевое смещение подшипника будет равно

$$L = 2e$$

Отсюда следует, что существует аналитическая связь между радиальным зазором и осевым смещением подшипника. Измеряя осевое смещение  $L$  и решая соотношение выше, возможно получить радиальный зазор  $\delta$ .

### УДК 53.084.823

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОЙ И ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Елизавета Андреевна Макарова

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,*

*ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Стабильная и точная работа станка является важной частью технологического процесса. Для преждевременного выявления и предотвращения сбоев и неисправностей станков проводят их диагностику. В настоящее время существует немало методов и видов диагностики, которые успешно применяются в отдельности, несмотря на то, что их совместное использование могло бы давать более точные результаты.

В рамках данной работы рассмотрен случай совмещения фазохронометрического и вибрационного методов, а также проведен анализ закрепления фазохронометрического датчика ЛИР158А и вибродатчика на примере токарно-винторезного станка УТ16П.

При разработке способа закрепления датчика ЛИР 158А на станке имели место три варианта для более точного закрепления первичного преобразователя и его устойчивое положения, чтобы избежать появления дополнительных погрешностей при измерениях.

На рисунках 1-3 представлены: 1-датчик ЛИР 158А; 2-магниты; 3-вибродатчик; 4-струбцины; 5-массивное основание/ крепление к фундаменту; 6-СОЖ; 7-суппорт; 8-задняя бабка.

Первый вариант - крепление датчика с помощью магнитов. В отверстие передней бабке корпуса станка устанавливается первичный преобразователь фазохронометрической системы. Крепежная пластина, соединенная винтами с корпусом станка, является универсальным переходником для установки датчика на станки разных типов. К крепежной пластине с помощью винтов и шпилек присоединены плита, датчик ЛИР 158А и муфта ЛИР 801. С внешней стороны станка от датчика отходит консоль, прикрепляемая на верхней поверхности корпуса станка двумя магнитами (Рис. 1).

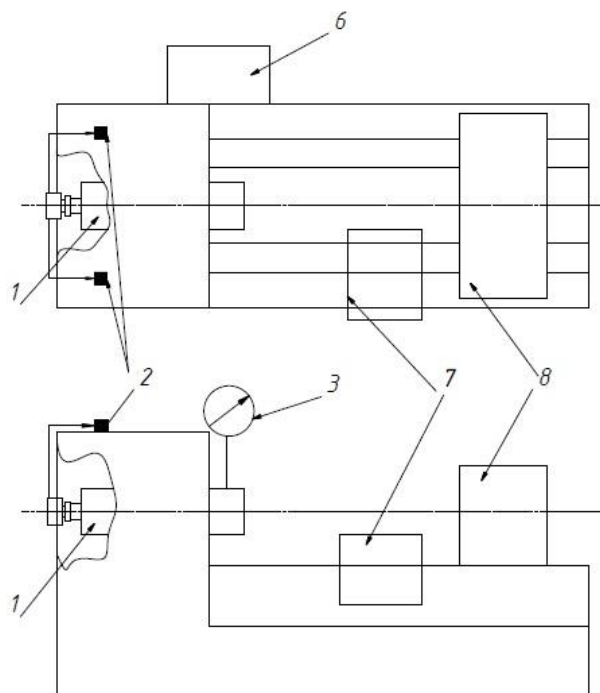


Рис. 1. Крепление к станку фазохронометрического датчика ЛИР 158А на консоли с магнитами

Для второго варианта вместо консоли были выбраны струбины, которые крепятся по бокам корпуса станка, при аналогичном прикреплении датчика к передней бабке (Рис. 2).

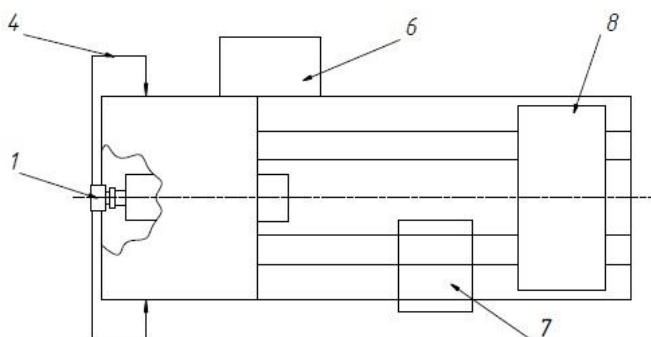


Рис. 2. Крепление к станку фазохронометрического датчика ЛИР 158А с помощью струбин

Недостатком двух представленных вариантов является малая жесткость консоли при необходимых габаритах, что приведет к перекосам и смещениям установки при сильных вибрации, что приведет к появлению грубых погрешностей при диагностике.

Третий способ предполагает использование массивного основания или крепления к фундаменту для установки датчика на станок. Датчик соединяется с передней бабкой способом, описанным в первом варианте крепления первичного преобразователя к станку (Рис. 3).

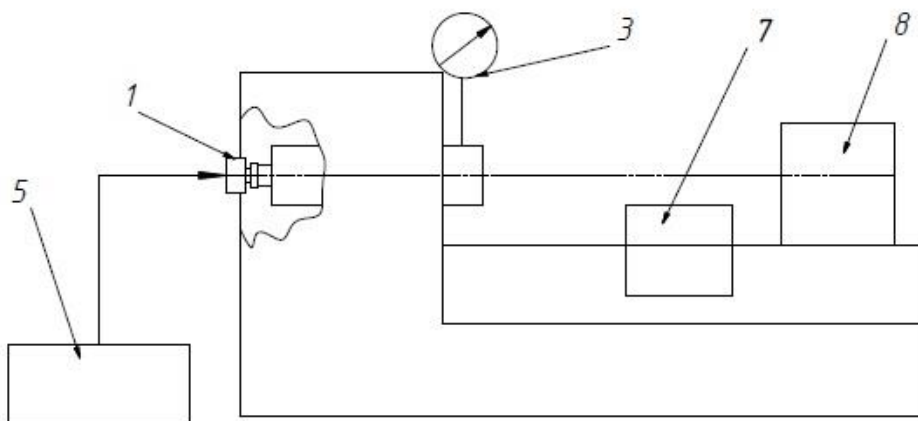


Рис. 3. Крепление к станку фазохронометрического датчика ЛИР 158А на массивном основании или к фундаменту

Неудобством в применении данной конструкции является большой вес основания, что уменьшает мобильность всей системы. Консоль, соединяющая основание с датчиком, также может являться источником дополнительных погрешностей из-за своих размеров.

Анализ представленных вариантов крепления датчика выявил их ненадежность, из чего следует необходимость модернизации ранее разработанной на кафедре конструкции, хорошо зарекомендовавшей себя, путем добавления универсальной крепежной пластины, которая будет являться переходником для нескольких типов станков для закрепления стандартной оснастки.

На передней бабке станка имеется крышка с отверстиями. С помощью винтов к ней можно прикрутить крепежную пластину. На нее, в свою очередь, можно установить стандартную оснастку. Под стандартной оснасткой следует понимать следующие элементы: датчик угловых перемещений с закрепленной на нем муфтой, между которыми находится пластина. Датчик угловых перемещений представляет собой инкрементальный энкодер с 5000 штрихов на измерительном угловом лимбе. В этой пластине имеются отверстия для соединения с крепежной пластиной с помощью шпилек и винтов. Цанга фиксируется в коническое отверстие шпинделя. Выходной вал углового инкрементного преобразователя, с закрепленной на нем муфтой соединяется с ответной частью переходника. Передача вращения шпинделя станка осуществляется через цангу, переходник, мембранную муфту на вал датчика (Рис. 4).

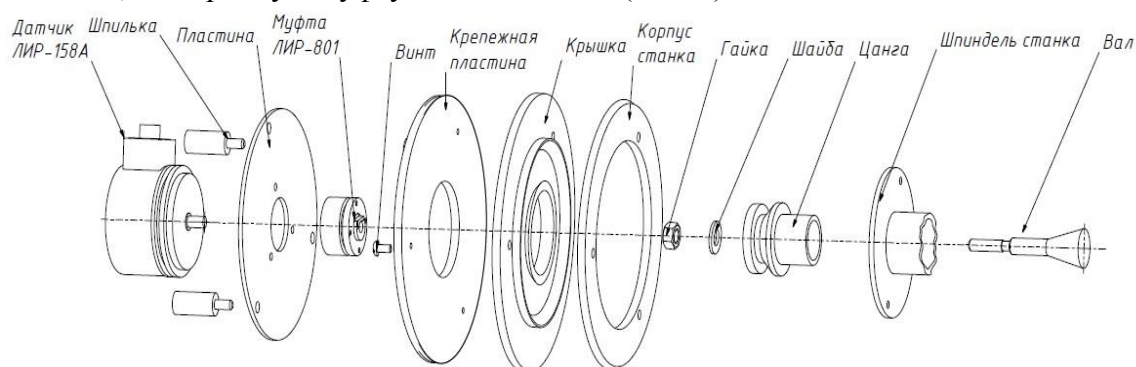


Рис. 4. 3D-схема крепления фазохронометрического датчика

Было произведено проектирование измерительного канала, фазохронометрическая часть которого была разработана на кафедре ранее.

Таким образом, измерительный канал составляют две части: фазохронометрическая и вибрационная (Рис. 5).

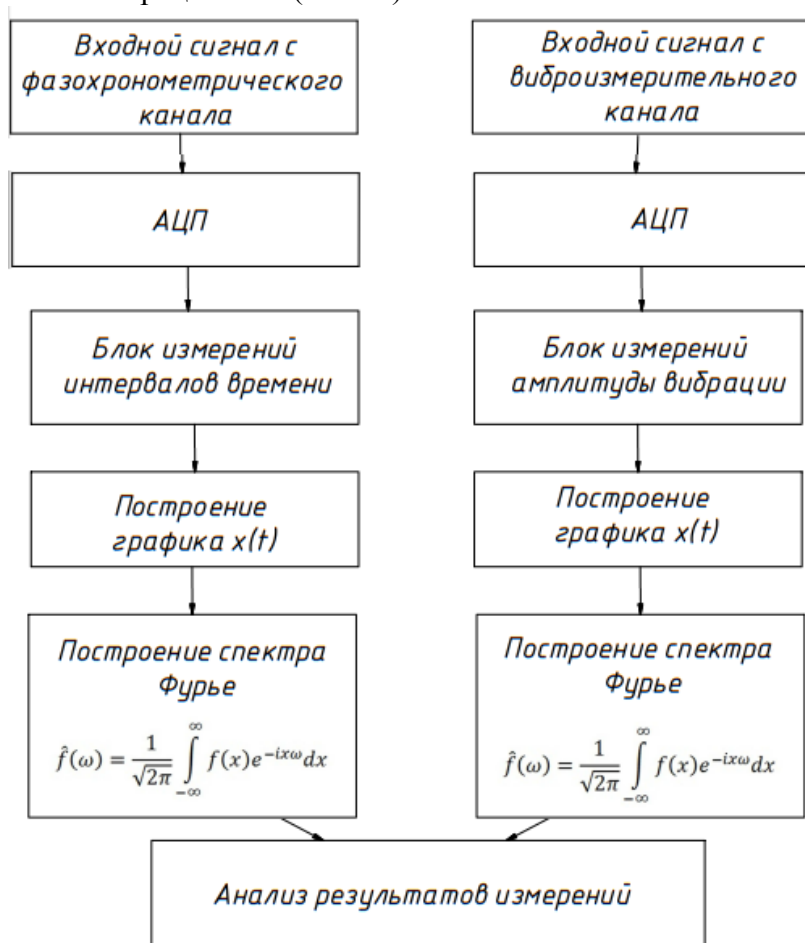


Рис. 5. Алгоритм действия измерительных каналов

Фазохронометрическая часть начинается от шпинделя станка, к нему присоединяется датчик ЛИР 158А с помощью переходной муфты ЛИР 801. По линии связи через фильтр на входе в блок информации и аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) данные передаются на счетчик, а затем на ЭВМ.

Вибрационный канал состоит из патрона станка, к которому крепится датчик измерения вибрации, измерения которого фиксирует анализатор спектра ZETLAB A19-U2. Анализатор через USB-устройство передает информацию на ЭВМ.

Прямое сравнение измерительной информации в виде интервалов времени и параметров вибрации не представляется достижимым. Тем не менее, стоит отметить, что виброускорение, виброскорость, виброперемещение и ряды интервалов времени образуют взаимодополняющую систему, поэтому возможно их совместное использование для определения физических параметров диагностируемого объекта.

Фазохронометрический канал: датчик ЛИР 158А, установленный на передней бабки, вырабатывает аналоговый синусоидальный измерительный сигнал  $U(t)$ , затем поступающий на вход блока обработки измерительной информации. Подсистема оцифровки сигнала при помощи аналоговых компараторов преобразует аналоговый сигнал в удобный для дальнейшей обработки цифровой вид.

Далее на основании измеренных значений интервалов времени блоком измерения интервалов времени на ЭВМ строится график  $x(t)$ , отражающий хронограмму работы

токарного станка УТ16П. По хронограмме с помощью анализа Фурье строится график спектров работы токарного станка.

Вибрационный канал: измерительный блок включает интегратор (одинарное и двойное интегрирование), усилитель, аналого-цифровой преобразователь, фильтры верхних и нижних частот и микропроцессор. Измерительный блок обеспечивает измерение среднего квадратического значения (СКЗ), пикового значения и размаха виброускорения, виброскорости и виброперемещения, а также частоты вибрации и числа оборотов ротора. Входной сигнал с виброизмерительного преобразователя передается на АЦП. АЦП производит первичный анализ и в ПО на ЭВМ вывод график амплитуды вибрации. По графику и полученным данным строится график спектров.

Фазохронометрический канал установлен так, чтобы получать измерительную информацию с внутренних колец подшипников. Вибродиагностика направлена на сбор информации о состоянии внешних колец подшипников.

Результаты расчетов и проведения экспериментов показали, что расчетные частоты совпадают с двумя частотами. На виброспектре это частота, которая сопоставима с частотой перекачивания тел качения по наружному кольцу, на спектре ФХМ-ближе к частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу. При этом отличие расчетных данных от полученных экспериментально для вибрационного метода составило 6%, для фазохронометрического метода- 3%, что является индикатором высокой сходимости результатов.

Таким образом, рассматриваемые системы выгодно использовать в комплексе.

### **Литература**

1. *Киселёв М.И., Пронякин В.И.* Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. №9. С.15 – 18.
2. *Потапов К.Г., Сырицкий А.Б.* Реализация измерительной фазохронометрической системы для диагностики технического состояния токарных станков // Приборы, №5, 2014. С.13 – 18
3. *Потапов К.Г.* Оценка технического состояния главных приводов токарных станков фазохронометрическим методом // Мир измерений, №12, 2014. С. 9 – 13.

### **УДК 658.562.5**

## **СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.**

Марина Александровна Подвислова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Климачев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В настоящее время редукторы находят свое применение во всех без исключения областях машиностроения, в средствах автоматизации, при построении систем управления и устройств регулирования, в средствах обработки информации и сложном



специализированном оборудовании. Редукторный привод является одним из наиболее распространенным.

Редукторы являются надежными агрегатами, но если условия эксплуатации нарушены, возможны поломки, которые необходимо устранить в короткие сроки. Ведь поломка одного редуктора может привести к снижению качества продукции, остановки оборудования, что повлечет немалые затраты на производстве.

Одной из наиболее распространенной причиной выхода из строя редуктора, связана с зубчатой передачей. Для предотвращения возможных поломок и внезапного выхода из строя, необходимо проводить диагностику неисправностей. На данный момент, главными задачами, являются повышение эффективности технического обслуживания, ремонта и увеличение эксплуатационной надежности и долговечности. Важной задачей при оценке качества продукции, заключается в реализации метрологического обеспечения и получения информации о работе механизма в процессе эксплуатации, для своевременного выявления (предотвращения) дефектов. Добиться решения этих задач можно с помощью контроля частоты вращения зубчатых колес бесконтактным датчиком.

В настоящее время для контроля частоты вращения зубчатого колеса, применяют системы на основе индуктивных датчиков, обладающих многими недостатками. К основным таким недостаткам можно отнести, обязательное наличие значения максимальной рабочей частоты оперирования датчика, частоту вращения зубчатого колеса и числа зубьев. Так же необходимо определить частоту воздействия зубчатого колеса на датчик, для определения рабочей частоты.

Для решения данной задачи, предлагается создать автономное устройство для контроля зубчатых передач на основе индуктивных угловых энкодеров. Такие датчики используются для высокоточных и достоверных измерений в экстремальных условиях.

Преимуществом таких типов датчиков, является то что, это бесконтактное устройство и с его помощью можно произвести измерения абсолютно любого положения. Основные принципы определения положения идентичны принципам работы измерительных трансформаторов, но вместо проводных обмоток и катушек, в данных датчиках, применяются печатные платы. Основной особенностью датчиков угла поворота, это использование индуктивной технологии определения положения, которая состоит из двух основных компонентов – мишени и антенны. На антенну подается напряжение, а мишень является пассивной. Электрический сигнал на выходе антенны отображает угол поворота мишени относительно антенны.

Еще немаловажным качеством таких датчиков, является корпус, он герметичен и виброустойчив, такие датчики не поддаются воздействию посторонних веществ. В связи с этим, отсутствует необходимость в их периодической замене и ремонте.

Достоинства использования датчика положения угла, это: высокая точность, стабильность, не зависящая от окружающей среды, компактность, легкость, а также допуски на установку не влияют на качество измерений. Датчик позволит выдерживать нагрузки до 500 г в течение 11 мс. Диапазон температур от -60 до +85 С°.

Датчики устанавливаются непосредственно в сам редуктор рядом с зубчатыми колесами, работу, которых, нужно контролировать. Зазор между зубчатым колесом и датчиком составляет около 1 мм. Датчик не содержит подшипников, съём сигнала происходит бесконтактно. Датчики соединены с блоком передатчика ZigBee (размер около 10 мм в диаметре). Питание подается на основе аккумулятора (5 В). Используя предложенную схему оператор может в любое время работы контролировать частоту вращения шестерен в зависимости от времени. Данные по работе шестерен считываются и передаются на планшет или ПК по беспроводной радиосети ZigBee. Протокол ZigBee обеспечивает высокую дальность сигнала, низкое энергопотребление, а также формирует самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую структуру. Общее время

автономной работы без смены аккумулятора может составлять до двух лет. Разрядность датчика 10 бит. Датчик может эксплуатироваться в условиях сильных электромагнитных полей, за счет того, что, конструкция алюминиевого корпуса датчика убирает практически до нуля электромагнитные волны, действуя по принципу клетки Фарадея.

Таким образом, с помощью предложенного автономного устройства для контроля зубчатых передач на основе индуктивных угловых энкодеров, с беспроводной передачей данных, позволит оператору наблюдать за состоянием редуктора в процессе его эксплуатации и не потребует остановки агрегата. Это приведет к своевременной диагностике состояния редуктора, тем самым появится возможность своевременно предотвратить поломки (сбои) на производстве.

### **Литература**

1. *Докукин, А. В.* Повышение прочности и долговечности горных машин. / Докукин А. В., Семенча П. В., Гольдбухт Е. Е., Зислин Ю. А. – М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.
2. *Консон, А. С.* Экономика ремонта машин. // Л. Машиностроение. -1970.- 164 с.
3. *Диллон Б.* Инженерные методы обеспечения надежности систем. / Пер. с англ. / Диллон Б., Сингх Ч. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
4. *Харкевич А. А.* Спектры и анализ. – М.: Физматгиз, 1962. – 236с.

### **УДК 51-74**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Феликс Павлович Сапожников

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Тумакова,*

*ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В настоящее время изучение вопроса защиты электромеханических систем от внешних воздействий является актуальной задачей, так как стоимость новых агрегатов достаточна велика, и внезапный выход из строя повлечет за собой значительные издержки. Одним из воздействий, которые потенциально могут оказывать существенное влияние на работу подобных систем, является сейсмическая активность.

Исследования сейсмических импульсов, проводимые в отношении электромеханических систем, таких как турбоагрегаты, на сегодняшний день не позволяют иметь полного представления о характере и степени влияния этих импульсов на функционирование таких объектов [1].

Сейсмические импульсы распространяются с известной скоростью в конкретной среде и регистрируются на поверхности Земли сейсмоприёмниками [2]. Импульсы порождают сейсмические волны, которые бывают продольные и поперечные. Скорость распространения поперечных волн почти в два раза меньше скорости продольных (точнее, в 1,7 раза) и не превышает 3,3-4,0 км/сек. Амплитуда поверхностных поперечных волн редко превышает несколько сантиметров. Поэтому чем дальше находится очаг землетрясения от наблюдателя, тем позднее дойдут до последнего поперечные волны по сравнению с продольными [3].

При изучении сейсмических импульсов для приближения реальных сейсмограмм используется несколько разных моделей:

1. импульс Берлаге:

$w(t) = t^n \exp(-bt) \sin(\omega t)$ ,  $n$  – параметр, определяющий конкретный вид огибающей импульса;

2. импульс Гельфанда:

$$w(t) = \exp(-bt^2) \sin(\omega t);$$

3. затухающая синусоида:

$$w(t) = \exp(-bt) \sin(\omega t);$$

4. импульс Пузырёва:

$$w(t) = \exp\left(-\frac{\omega}{\pi} t\right)^2 \sin(\omega t);$$

5. импульс Риккера:

$$w(t) = \left(1 - 2\left(\frac{\omega}{\pi} t\right)^2\right) \exp\left(-\left(\frac{\omega}{\pi} t\right)^2\right);$$

$\omega = 2\pi f_0$ , где  $f_0$  – преобладающая частота [2].

В качестве объекта исследования был выбран главный циркуляционный насосный агрегат. С помощью математического моделирования можно определить зависимость его параметров от времени, например, на рисунке 1 показана хронограмма вращения ротора без внешних воздействий сейсмических импульсов на агрегат.

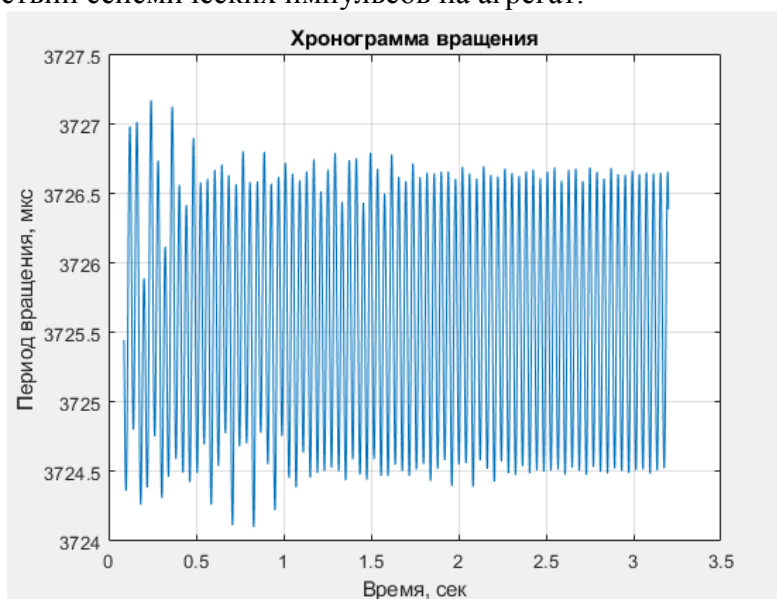


Рис.1 Хронограмма вращения без влияния сейсмической активности

Для построения математической модели сейсмических колебаний был выбран импульс Берлаге. Во время воздействия импульсов на объект исследований возникнет некоторый сейсмический момент, который будет оказывать силовое воздействие на вал агрегата, а значит влиять на выходные параметры всего объекта. В работе проведена оценка этого воздействия.

### Литература

1. *Тумакова Е.В.* Сейсмические импульсы и их воздействие на электромеханические системы // Сборник материалов XIV Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы измерений» МГТУ им. Н.Э. Баумана 18-20 апреля 2017 г. – М: НУК ИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 270-271.

2. Рабинович Е.В., Ганчин К.С., Путьшев И.М., Шефель Г.С. Модель сейсмического импульса, возникающего при гидравлическом разрыве пласта // Математические структуры и моделирование. 2014. № 4 (32). С. 5 – 11.
3. Геология / *mygeos.com*. URL: <http://www.mygeos.com/geologiya>

**УДК 536.532**

## **Разработка измерительного комплекса паровой турбины К-300-240**

Елизавета Сергеевна Сипина

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Комшин,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Объектом исследования является паровая конденсационная турбина К-300-240, представляющая собой одновальный трехцилиндровый агрегат с промежуточным перегревом пара и предназначенная для привода генератора переменного тока типа ТВВ-320-2 с частотой вращения ротора  $50 \text{ с}^{-1}$ .

Цель работы – разработка измерительного канала передачи информации с датчика измерения температуры паровой турбины до электронной вычислительной машины с наименьшей погрешностью.

В начале работы были рассмотрены общие технические характеристики паровой турбины К-300-240, из которых были выделены две, наиболее значимые на практике, – температура острого пара в цилиндре высокого давления и температура пара в цилиндре низкого давления.

На начальном этапе разработки измерительного канала необходимо было выбрать первичный датчик преобразования сигнала температуры паров. По критериям точности, безотказности работы, по совокупности характеристик для измерения температуры острого пара была выбрана термопара ТХА(К), выполненная из материала хромель-алюмель, а для пара в цилиндре низкого давления – термометр сопротивления платиновый ТСП. После этого были рассмотрены основные погрешности, связанные с измерением температуры, и были предложены способы их устранения.

В процессе данной работы представлен процесс создания измерительного преобразователя для датчика термопары. Были построены график функции номинальной статической характеристики в диапазоне  $+0$  до  $+600 \text{ }^\circ\text{C}$  для определения зависимости электродвижущей силы, возникающей в цепи первичного датчика преобразования, термопары ТХА(К) от температуры и график идеальной линейной характеристики преобразования по температуре. По окончании построения была определена максимальная в заданном диапазоне температуры погрешность нелинейности характеристики и сделан вывод о необходимости линеаризации. Немало важным явилось определение разрешающей способности аналого-цифрового преобразования с учетом линеаризации. С учетом результатов проделанной работы была разработана структурная схема измерительного преобразователя с указанием основных функциональных узлов.

Помимо этого, проводился анализ влияния точности измерения параметров пара на экономические показатели работы паровой турбины и влияния рабочей температуры на показатели надежности корпусов паровой турбины.

В конечном результате была подсчитана погрешность спроектированного измерительного канала, которая оказалась удовлетворительной, что и явилось итогом работы.

### **Литература**

1. Крамарухин Ю.Е. Приборы для измерения температуры. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
2. Гордон А.Н. Основы температурных измерений. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304с.
3. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1982.-552с.

### **УДК 531.7**

## **К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ КООРДИНАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Мария Александровна Смольянинова

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Комшин,*

*доктор технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Координатные измерительные машины (КИМ) получили широкое распространение во многих отраслях промышленности, выпускающих крупногабаритные детали, а также детали сложной формы.

На КИМ реализуется метод координатных измерений, заключающийся в последовательном нахождении значений координат определенного числа точек измеряемых поверхностей детали и последующих расчетах линейных и угловых размеров отклонений формы и расположения этих поверхностей. Координатные машины в самом широком объеме удовлетворяют требованию многофункциональности. В пределах заданного диапазона измерения (по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) универсальная КИМ имеет возможность измерять любой тип деталей с определением всей известной номенклатуры геометрических параметров. При этом появляется возможность оценить качество изготовления детали в комплексе, по группе взаимосвязанных параметров и по каждому геометрическому параметру в отдельности [2].

Однако такое техническое требование, как многофункциональность, ограничивает производительность КИМ.

Что бы сформулировать задачу о рациональном применении координатных технологий тогда, когда имеется много измеряемых параметров, необходимо ввести в рассмотрение понятие критерия оптимизации.

Критерий оптимизации – значение количественного показателя или правило (соотношение), характеризующее экстремум (максимум или минимум) целевой функции системы.

Для данной задачи целесообразно использовать следующие критерии:

- 1) Минимум денежно-материальных затрат на измерение;
- 2) Минимум временных затрат на измерение;
- 3) Минимум погрешности при измерении.

Решение подобных задач основывается на теории направленных графов.

Направленным графом называют сеть направленных ветвей, соединенных в ряде точек, называемых вершинами, которая однозначно определяет систему линейных алгебраически уравнений. Вершинами графа представлены переменные системы, а коэффициентам уравнений соответствуют ветви, которым приписываются так называемые коэффициенты передачи [3].

Направленный граф содержит ту же информацию, что и представленная им система уравнений. Однако между графом и системой уравнений не существует взаимно однозначного соответствия. Это приводит к различным графам в зависимости от порядка, в котором используются уравнения, разрешенные относительно некоторой переменной [3].

### **Литература**

1. *Шачнев Ю.А., Лазарева Е.А.* Требования к точности широкодиапазонного средства измерительного контроля. Москва, 2017. 17 с.
2. *Бражкин Б.С., Исаев Н.И., Кудинов А.А., Миротворский В.С.* Технологические основы контроля на координатно-измерительных машинах / под ред. А.А. Кудинова. М.: Издательство «Миттель Пресс», 2014. 203 с.
3. *Робишо Л., Буавер М., Робер Ж.* Направленные графы и их применение к электрическим цепям и машинам: пер. с фр. / под ред. Э.М. Пейсаховича. М.: Энергия, 1964. 248 с.

### **УДК 51-74**

## **РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ.**

Анастасия Дмитриевна Стукалова

*Магистр 1 года*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.С. Комшин,*

*доктор технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В настоящее время изучение вопроса анализа поверхностных дефектов объектов машиностроения, в процессе их жизнедеятельности, является актуальной задачей. Множество ответственных объектов, подверженных серьезным нагрузкам, находятся в движении, что в значительной мере затрудняет процесс их визуального контроля. Однако своевременное обнаружение ряда поверхностных дефектов, таких как трещины и сколы, позволит не только предотвратить брак, но и предупредить поломку механизмов [1]. Таким образом, средства технического диагностирования поверхности играют огромную роль в развитии современных методов контроля качества механизма на различных этапах его жизненного цикла [2], [3]. Необходимо создание и внедрение в промышленность систем контроля качества поверхности, которые позволят решать ряд задач:

- размещение контрольного устройства в условиях ограниченного пространства;
- работа в условиях повышенных температур;

- высокая скорость движения объекта (не позволяет человеческому глазу отслеживать изменение состояния поверхности);
- контроль состояния поверхности объекта в режиме реального времени.

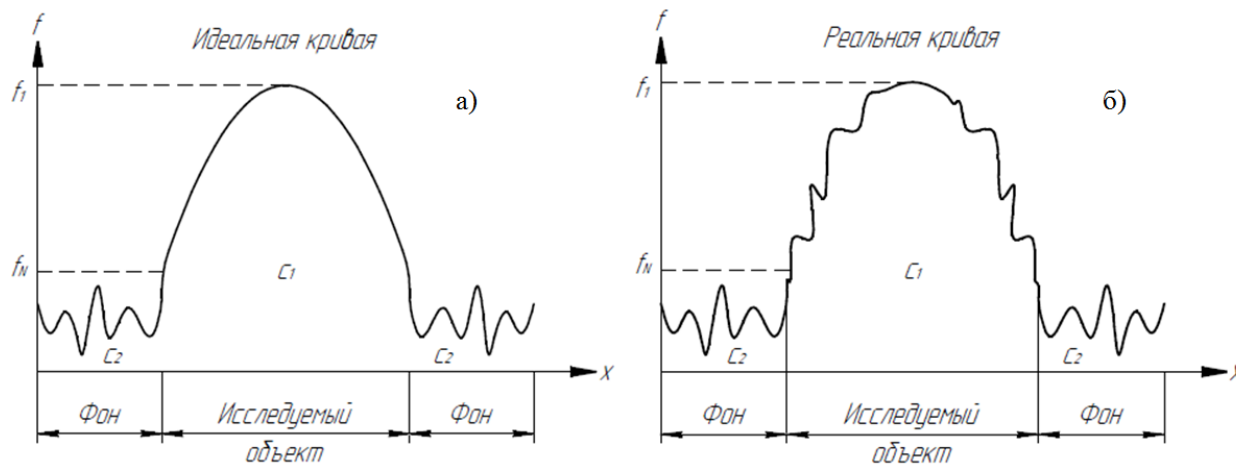
Применение видеокамеры позволяет решить проблемы установки в ограниченном пространстве и работы с высокими температурами производственных процессов, а применение стробоскопа – фиксировать быстропротекающие процессы. Также, необходимо создание алгоритмов анализа, полученной визуальной информации, что существенно сократит время и повысит качество, обрабатываемых данных.

Большое внимание необходимо уделить математическому аппарату, способному обрабатывать полученную визуальную информацию. Так, математической моделью изображения является функция, зависящая от двух пространственных переменных. Значение функции в заданной точке  $(x, y)$  плоскости выражает количественно физическое свойство моделируемого изображения – его яркость или цвет. Область изменения пространственных переменных (область задания функции) – полем зрения, а значения функции в заданной точке поля зрения – яркостью изображения.

$$\int_x f^2(x, y) dx dy < \infty,$$

где  $f(x, y)$  – функция яркости (энергия видимого света, излучаемая элементарной площадкой  $dx dy$ , центр которой находится в точке поля зрения с координатами  $(x, y)$ , в элемент телесного угла  $d\Omega$  в направлении наблюдателя).

Изображение может «состоять» из нескольких функций  $f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_N(x, y)$ , одна из которых, например, описывает яркость, другие – текстурные особенности, следующие – цвет. [4].



а) – Идеальная кривая, б) – Реальная кривая

Рисунок 1 – Кривые яркостно-геометрической модели изображения.

Модель вала представляем в виде матрицы, состоящей из пикселей каждому из которых присвоен свой цвет [5]:

$$A = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{N1} & f_{N2} & \dots & f_{Nn} \end{pmatrix};$$

Из матрицы значений выделяем столбец и анализируем его свойства:

$$A_i = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{pmatrix};$$

Яркости отражающих поверхностей, не являющиеся плоскими, меняются постепенно от точки к точке, и следовательно, их изображения не являются кусочно-постоянными функциями. Например, изображение вала можно описать следующим образом (рисунок 1):

$$f(x, y) = \begin{cases} c_1(x, y), & (x, y) \in A_1, \\ c_2(x, y) = \text{const}, & (x, y) \in A_2, \end{cases}$$

где  $c_1(x, y)$  – функция, описывающая изменения яркости поверхности шара;  
 $c_2(x, y)$  – функция, описывающая изменения яркости фона;

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^2 c_i(x, y)\chi_i(x, y),$$

Функция  $c_1(x, y)$  можно задавать в виде разложения:

$$c_1(x, y) = \sum_{i=1}^N \alpha_i g_i(x, y), \quad (x, y) \in A_1,$$

где  $\alpha_1, \dots, \alpha_N$  – постоянные коэффициенты;

$[g_i]$  – набор функций, специально подобранный для наиболее качественного моделирования изображения шара.

$$f_1 \geq f_2 \geq \dots \geq f_N;$$

Разница между кривой на рисунке 9 и на рисунке 10 будет давать представление о наличии дефектов на поверхности вала. При отсутствии несоответствий можно сделать заключение, что дефектов на поверхности исследуемого объекта нет.

Нахождение дефектов основано на сопоставлении двух кривых и анализе различий между ними.

#### **Принимаем:**

$F$  – идеальная кривая (изменение яркости происходит монотонно);

$G$  – реальная кривая (изменение яркости немонотонно при наличии дефектов);

$Pg$  – кривая полученная усреднением реальной кривой, при стремлении ее к идеальной;

#### **Алгоритм нахождения несоответствий:**

$G - Pg = 0$  – дефекты отсутствуют;

$G - Pg > 0$  или  $G - Pg < 0$  – наличие дефектов;

### **Литература**

1. Захаров Ю. А., Ремзин Е. В., Мусатов Г. А. Анализ основных дефектов и способов восстановления деталей автомобилей типа «вал» и «ось» // Молодой ученый. — 2014. — №20. — С. 138-140;



2. *Байков А.И., Киселев М.И., Кошкин А.С., Пронякин В.И., Руденко А.Л.* Многофакторное информационное метрологическое сопровождение эксплуатации гидроагрегатов на базе фазохронометрического метода // Гидротехническое строительство. — 2015. — №2. — С. 2-8;
3. *Кузнецов М.В.* Современные методы исследования поверхности твердых тел. // Институт химии твердого тела УрО РАН. 2010;
4. *Куличков С.Н., Чуличков А.И., Демин Д.С.* Морфологический анализ инфразвуковых сигналов в атмосферной акустике // М.:ФИЗМАТЛИТ. 2010 – 129 с.
5. *Р. Гонсалес, Р. Вудс* Цифровая обработка изображений. // Москва : Техносфера, 2005. – 1072 с. ISBN 5-94836-028-8.

### **УДК 681.2.083**

## **ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА БАЗЫ ДЛЯ ОТСЧЕТА ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПЛОСКОСТНОСТИ НА МЕТОДИЧЕСКУЮ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ**

Илья Олегович Тверитнев

*Аспирант 3 курса,  
кафедра «Измерительные информационные системы и технологии»  
Московский государственный технологический университет МГТУ СТАНКИН*

*Научный руководитель: А.В. Глубоков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Измерительные информационные системы и технологии»*

В настоящее время погрешность средств измерения невелика и во многих случаях существенное влияние оказывает методическая погрешность измерения. Одним из наиболее распространенных методов измерения является координатный метод, реализуемый на координатно-измерительной машине (КИМ). Существенным недостатком данного метода является зависимость методической погрешности от выбора контрольных точек и алгоритма обработки результатов измерения [1].

При измерении отклонения от плоскостности базой для отсчета является прилегающая плоскость, а не средняя плоскость, определяемая по методу наименьших квадратов. Методическая погрешность в алгоритмах, применяемых в программном обеспечении КИМ, использующие среднюю плоскость в качестве базы для отсчета, может достигать 50% [2]. Также параметром, влияющим на методическую погрешность, является количество контрольных точек исследуемой поверхности.

Цель работы связана с установлением зависимости между величиной методической погрешности измерения отклонения от плоскостности и выбором базы для отсчета. Объектом исследования являлись чугунные поверочные плиты размерами 250×250 и 400×400 мм. Для обработки результатов измерения применялись два алгоритма. В первом случае алгоритм, использующийся в программном обеспечении КИМ, где базой для отсчета является средняя плоскость. Во втором случае алгоритм, использующийся в разработанном программном обеспечении. Базой для отсчета является прилегающая плоскость.

В результате исследования зависимости между количеством контрольных точек и методической погрешностью измерения относительно средней плоскости было установлено, что оптимальное количество сечений равно 5-7. Методическая погрешность для средней плоскости в среднем составила 10%.

Проведен анализ, связанный с выявлением зависимости между методической погрешностью и характером расположения контрольных точек на моделируемых поверхностях. В итоге наблюдалось значительное изменение методической погрешности при изменении показаний контрольных точек, располагающихся на краях моделируемых поверхностей. Максимальное значение методической погрешности составило 35-40%.

Проведенные исследования показали, что программное обеспечение, используемое в КИМ, при измерении отклонения от плоскостности может вносить существенную методическую погрешность.

### **Литература**

1. *Глубоков А.В.* Анализ методик измерения отклонений формы координатным методом // Вестник МГТУ Станкин. 2017. № 1. С. 72–77.
2. *Глубоков А.В., Педь С.Е., Глубокова С.В.* Влияние числа контрольных точек на погрешность измерения отклонений от прямолинейности // Измерительная техника. 2017. № 2. С. 24–27.

### **УДК 53.083**

## **LINUX-ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДА СОВПАДЕНИЯ С ЦЕЛЮ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ МНОГОВОЛНОВЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ**

Алексей Сергеевич Устинов

*Магистр 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Измерительные информационные системы и технологии»  
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»*

*Научный руководитель: А.В. Забелин,  
заведующий лабораторией кафедры «Измерительные информационные системы и технологии»*

Многоволновые интерферометры применяются во всех национальных метрологических институтах и в большинстве ведущих измерительных лабораториях технологически развитых стран мира. Более 150 лет данные приборы используются в роли эталонных средств измерений длины. Возможность перехода от длины волны света к длине материальных измеряемых объектов (концевых мер длины) обуславливает точность измерений, которая заметно возросла за более чем двухвековой период использования интерференционных приборов. Несмотря на достигнутые успехи, многоволновые интерферометры непрерывно совершенствуются, в том числе в части компьютеризации процесса абсолютного измерения длины по методу совпадения дробных частей порядка интерференции. Этот метод может сочетаться с различными способами повышения точности отсчета дробных долей, в том числе с гетеродинной интерферометрией, что дает возможность надеяться существенно повысить точность измерений [1].

Цель работы заключается в исследовании принципиальной возможности компьютерного моделирования процесса измерения по методу совпадения, используя свободно распространяемое программное обеспечение, с возможностью кроссплатформенной реализации. Разработка ведётся в среде операционной системы (далее ОС) Linux Ubuntu. Данный дистрибутив Linux обладает скромными системными требованиями, что положительно выделяет его из числа прочих (Debian, Ubuntu, и др.). Код программы реализован на языке программирования C++, в среде разработки Code::Blocks, пользовательский интерфейс программы выполнен в среде QT Creator (рис.

1). Справедливо отметить, что данное разделение задач между средами разработки вызвано желанием продемонстрировать разнообразие свободно распространяемого программного обеспечения, поскольку и разработку кода, и пользовательского интерфейса можно производить в каждой из упомянутых сред. Тестирование контрольных версий разрабатываемой программы производится на ОС Windows 7 32 bit, Windows 10 64 bit, Linux Ubuntu 32 bit без предварительно установленных сред программирования и разработки (например QT Creator, Code::Blocks).

Алгоритм работы представленной компьютерной программы использует математическую модель метода совпадения на основе многомерных целочисленных решёток. Во время работы программы производится многократная смена виртуальных объектов измерения, в отличие от моделей из статей российских [2], немецких [3] и канадских [4] исследователей, которые предполагают однократное виртуальное измерение, что усложняет учёт статистических особенностей метода совпадения. Также в данной компьютерной модели, отсутствуют ограничения на количество используемых измерительных длин волн. Это осуществляется за счёт использования алгоритма динамических вложенных циклов при переборе вариантов сочетаний целых частей порядков интерференции.

Таким образом, на практике подтверждена возможность создания компьютерной программы, моделирующей основные особенности метода совпадения дробных частей. Результаты моделирования существенно зависят от объёма набора виртуальных объектов измерения. В дальнейшем планируется упростить алгоритмы работы представленной компьютерной программы по результатам использования математической модели метода совпадения на основе многомерных целочисленных решёток. При этом предполагается уделить особое внимание поиску способов и алгоритмов уменьшения вычислительной нагрузки в процессе моделирования многоволновых интерферометров.

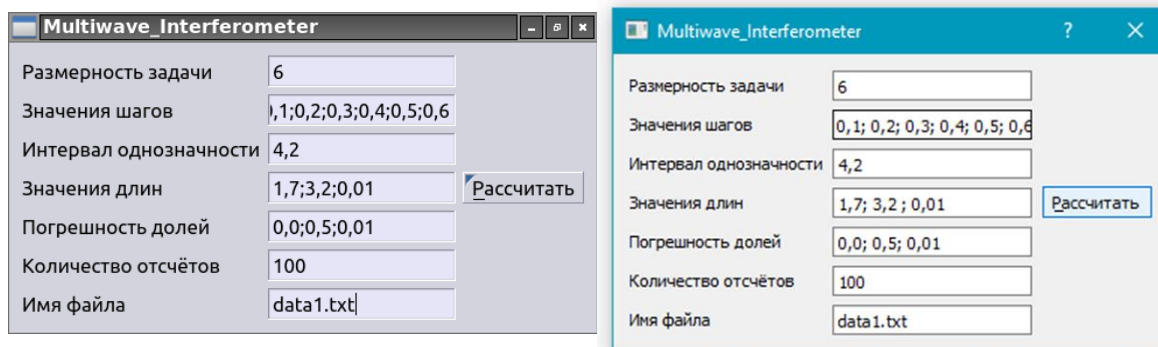


Рисунок 1. Главное окно программы Multiwave\_Interferometer в ОС Linux Ubuntu (слева) и ОС Windows 10 (справа).

## Литература

1. *Забелин А. В.* Математическая модель метода с овладения дробных частей порядка интерференции// Измерительная техника. – 2011, – № 7. С. 8 — 12.
2. *Королёв А. Н.* Аппаратно-программный комплекс для регистрации и обработки массивов видеоданных при измерении концевых мер длины на интерферометре Кестерса/ А. Н. Королев, А. Я. Лукин, Н. А. Кононова // Измерительная техника, – 2003. – № 4. С. 7 — 10.
3. *Abou-Zeid A.* Multi-Wavelength Interferometry for Length Measurements Using Diode Lasers / A. Abou-Zeid, K. Meiners-Hagen, R. Schödel, F. Pollinger // MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Volume 9, Section 3, No.1, – 2009, P. 16 – 26.

4. Decker J. E. Increasing the range of unambiguity in step-height measurement with multiple-wavelength interferometry—application to absolute long gauge block measurement / J. E. Decker, J. R. Miles, A. A. Madej, R. F. Siemsen, K. J. Siemsen, S. de Bonth, K. Bustraan, S. Temple, J. R. Pekelsky // Applied Optics Vol. 42, – 2003, – Issue 28, P. 5670-5678.

УДК 620.192.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ АДГЕЗИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ.

Дарья Владимировна Фадеева

Студент 4 курса, бакалавриат,  
кафедра «Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость».

Целью работы является разработка метода контроля адгезионных соединений на основе электроёмкостного и электрорезистивного подходов.

В связи с широким применением клеевых соединений в промышленности, благодаря преимуществам, по сравнению с традиционными методами сборки, возникает необходимость создания приспособления для их контроля на этапе маршрутной обработки изделия.[1]

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы (рисунок 1), представляющие собой комбинацию вала (позиция 2) и втулки (позиция 3), между которыми находится адгезив (позиция 4). Склеивание производилось не на полную глубину втулки для того, чтобы в дальнейшем была возможность произвести разрушающий контроль соединения. На этом же рисунке указана схема измерения с использованием RLC измерителя для параметров сопротивления и емкости.

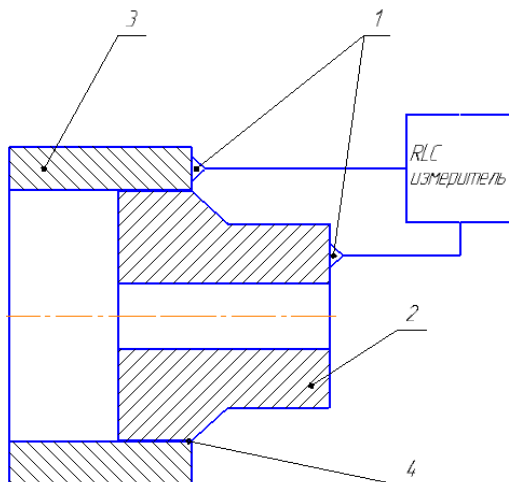


Рис.1. Схема измерения электроёмкостным и электрорезистивным методами.

Суть электрорезистивного метода заключается в том, что измеряется переходное электрическое сопротивление клевого шва. Расчёт сопротивления можно произвести по формуле:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}, \text{ где}$$

$\omega$  – циклическая частота;

$C$  – ёмкость.

Более информативным параметром является ёмкость контакта. Так как поверхности склеиваемых деталей разделены клеем, который является диэлектриком, то можно говорить о плоском конденсаторе, ёмкость которого можно рассчитать по классической формуле:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \text{ где}$$

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость клея;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

$S$  – площадь обкладок конденсатора;

$d$  – расстояние между обкладками. [2]

Результаты контроля приведены на рисунке 2 и рисунке 3.



Рис.2.График зависимости сопротивления от номера испытуемого образца.

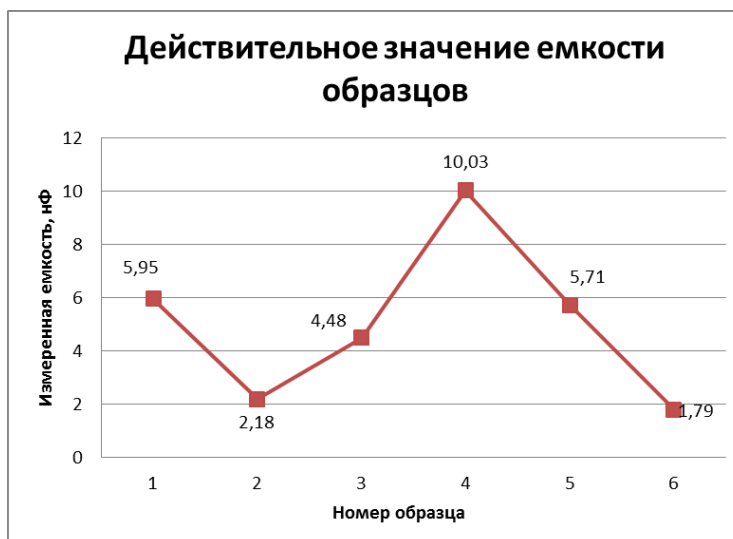


Рис.3.График зависимости емкости от номера испытуемого образца.

Результаты разрушающего метода контроля, а именно испытания образцов на сдвиг на разрывной машине ИР5143-200



Рис.4. График зависимости максимального усилия при разрыве образцов.

Анализируя результаты неразрушающего и разрушающего методов контроля, делаем вывод о том, что основными факторами, влияющими на прочность адгезионного соединения, являются: величина зазора, толщина клеевого шва и площадь контакта.

Сделав сравнительный анализ графиков, построенных по полученным в ходе испытаний результатам, можно говорить о том, что, чем выше прочность клеевого соединения, тем меньше значение емкости и сопротивления и, следовательно, зазора.[2,3].

### Литература

1. *Лебедев В.А.* Технология машиностроения. Проектирование технологии сборки изделий: учебное пособие. Ростов н/Дону: Издат. Центр Дон. гос. техн. ун-та, 2005. – С. 161
2. *Масленникова Е.В., Тумакова Е.В.* О возможности применения измерительного контроля адгезивных соединений электрорезистивными, электроемкостными и акустическим методами. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана.

3. *Игнатов А.В., Комишин А.С., Потапов К.Г.* Контроль сборки клеевых соединений на основе электрорезистивных и электроемкостных методов измерений. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана.

#### УДК 62-519

### РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.

Михаил Михайлович Чухнин

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Б. Сырицкий, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В данной работе рассматривается разработка и возможное применение системы мониторинга параметров работы и контроля измерений координатно-измерительных машин. Координатно-измерительная машина – высокоточное средство измерения, предназначенное для измерения геометрических характеристик объекта. При проведении измерений к объекту измерения, средству измерения, окружающей среде предъявляются строгие требования по контролю параметров влияющих величин, значения которых не должны выходить за рамки нормальных. Соблюдение данных требований позволяет получать результаты с максимальной точностью.

В качестве контрольных, были выбраны следующие параметры: Вибрация, Давление воздуха в системе, Виброускорение измерительной головки, Ударные нагрузки. Значения параметров при нормальных условиях, а так же контролируемые диапазон представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Контролируемые параметры

№	Наименование	Значение при нормальных условиях	Контролируемый диапазон
1	Температура	20 [°C]	10 – 30 [°C]
2	Виброускорение	0-5 [м/с <sup>2</sup> ]	0 – 15 [м/с <sup>2</sup> ]
3	Давление	4 [атм]	2,5 - 4 [атм]
4	Удар	Нет	Да/Нет

Система, позволяющая производить контроль данных параметров, состоит из нескольких датчиков.

Датчик температуры DS18B20 - Датчик температуры воздуха с цифровым представлением данных на выходе. Предназначен для работы совместно с микроконтроллером. Основной компонент – микросхема ds18b20, преобразующая температуру корпуса в информацию передаваемую по последовательной двухпроводной шине данных. Датчик температуры ds18b20 применяется для измерения температуры воздуха в помещении и на открытом воздухе. Устанавливается данный датчик в непосредственной близости от объекта измерения, но так чтобы не мешать проведению измерений. Контролируемый диапазон температур был выбран исходя из требований написанных в паспорте Координатно-измерительной машины, в котором данная температура указана как подходящая для проведения измерений.

Датчик удара SW420 - “чувствует” удары по корпусу объекта в котором он смонтирован. Модуль датчика наиболее чувствителен к ударам направленным поперек плоскости платы. Воздействие воспринимает чувствительный элемент, представляющий собой пружину, конец которой окружен контактами. При ударе пружина изгибается, конец пружины касается контактов и цепь датчика SW420 замыкается. При срабатывании датчика замыкается контакт, который может быть соединен с входом самых различных приборов. Устанавливается данный датчик на ось, к которой прикреплен Щуп Координатно-измерительной машины (так же возможна установка датчика на измерительный столик). Датчик будет срабатывать в случае когда произошел грубый контакт щупа и детали, либо в случае резких воздействий на измерительный столик: ввиду плохого закрепления детали на столике, либо из-за неточности в действиях оператора.

Датчик Виброускорения ADXL345 - Модуль воспринимает механические воздействия на прибор в котором он закреплен. Реагирует на удары, вибрацию, встряску. Кроме простого замыкания контактов датчика модуль ADXL345 способен формировать импульсы напряжения. Для этого в схему входит резистор 10 кОм подключенный к линии питания. В обычном состоянии на выходе модуля напряжение питания. При замыкании контактов датчика напряжение выхода становится равным нулю. Удары вызывают формирование на выходе коротких отрицательных импульсов. Устанавливается данный датчик на предметный столик КИМ, на котором находится объект измерения.

Датчик Давления DC 5B G1 – Датчик воспринимает воздействие сжатого воздуха на чувствительный элемент датчика. При воздействии формируется электрический сигнал показывающий значение воспринимаемого воздействия. Данный датчик предназначен для измерения давления в магистрали между компрессором и координатно-измерительной машиной. Сжатый воздух, который поступает из компрессора, необходим для плавного передвижения направляющих осей координатно-измерительной машины, на которых установлен измерительный наконечник. Контролируемый диапазон давления был выбран исходя из возможной работоспособности координатно-измерительной машины. Значение 2.5 [атм] является минимально допустимым для работы, так как при меньших значениях перемещения направляющих осей без трения невозможно. Значение 4 [атм] является максимально допустимым, так при больших значениях возникает риск механического повреждения магистрали, по которой происходит перекачка воздуха.

Принцип работы заключается в расположении каждого датчика на объекте контроля (одной из частей координатно-измерительной машины). Далее показания датчиков по измерительным каналам переходят на контрольный блок управления, а с него на компьютер (рабочее место оператора). На компьютере устанавливается специальное программное обеспечение, позволяющее отслеживать показания контролируемых



параметров, их количественное значение, а также нахождение данных значений в пределах установленного допуска. При возникновении какого-либо отклонения от нормы, программа уведомит об этом оператора путем подачи соответствующего сигнала

Конструкция данной системы позволяет производить мониторинг сразу нескольких координатно-измерительных машин в условиях цехового производства. Концепция данной системы представлена на Рисунке 1.

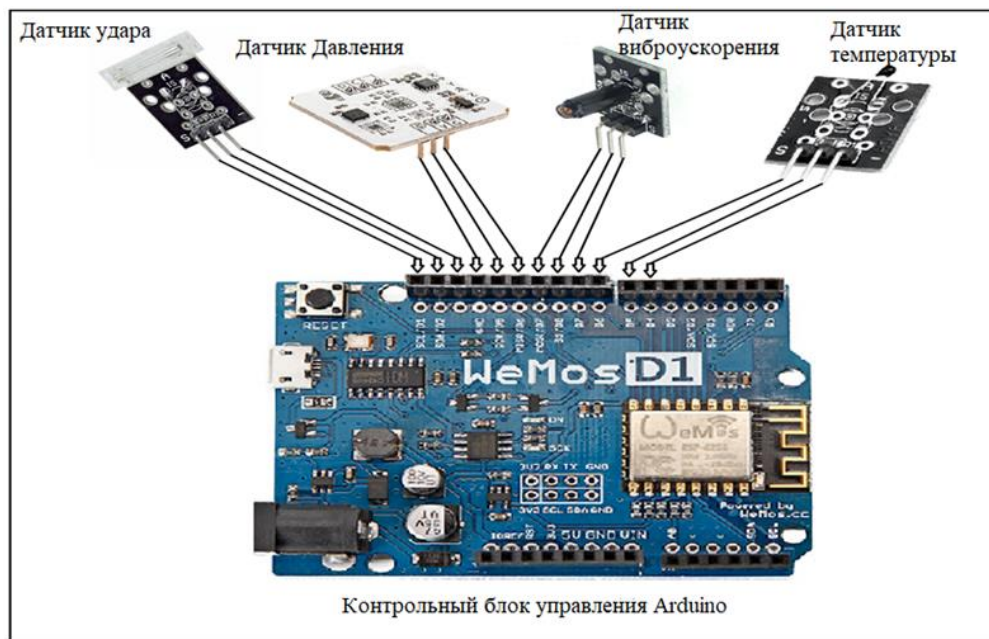


Рис. 1. Схема системы датчиков контроля параметров работы КИМ.

В данной работе проведен анализ работы Координатно-измерительных машин, рассмотрены технические характеристики и построена принципиальная схема. Были подобраны параметры контроля работы, установлены нормальные значения параметров, а так же диапазон измерения. Для контроля данных параметров были подобраны соответствующие датчики и составлены измерительные каналы для всей системы, включающую в себя все датчики и блок обработки.

По результатам проделанной работы был сделан вывод о целесообразности дальнейшего развития данной системы и различных возможностях применения ее в машиностроении.

#### Литература.

1. Mitutoyo. Координатно-измерительные машины с ЧПУ. Опыт и инновации. ООО “Митутойо РУС” 2015г.
2. Станкосервис. Система мониторинга станков с ЧПУ АИС «Диспетчер». [Электронный Ресурс] Режим доступа: <http://bsystem.ru/Portals/0/files/TechDocs/Станкосервис.pdf?ver=2016-11-09-131736-863> (дата обращения 10.10.2017г.).

3. *Липкин Е.* Индустрия 4.0: “Умные технологии” – ключевой элемент промышленной конкуренции. ООО «Остек-СМТ» Москва 2017г.

### **УДК 681.518.3**

#### **ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ**

Татьяна Сергеевна Ястребова

*Аспирант 1 курса*

*кафедра «Информационные измерительные системы и технологии»*

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»*

*Научный руководитель: А.В. Глубоков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные измерительные системы и технологии»*

В современном мире, где качество является одним из определяющих показателей конкурентоспособной продукции, предъявляются жесткие требования к процессам контроля продукции на различных стадиях ее изготовления [1]. Одной из основных задач при этом является выбор средств измерений (СИ).

В ходе рассмотрения предусмотренной нормативной документации, устанавливающей процедуру выбора универсальных средств измерений линейных размеров (РД 50-98-86) [2] был выявлен ряд недостатков и предложены пути их решения.

Одним из недостатков является то, что в нормативном документе приведен ограниченный список типовых средств измерений без учета специальных средств измерений. С момента введения РД 50-98-86 список типовых средств измерений значительно расширился современными средствами измерений, обладающими более широкими техническими возможностями, имеющими более высокую точность. Так, например, погрешность нониусного штангенциркуля ШЦ-I производства ООО НПП «Челябинский инструментальный завод» равна 0,05 мм, что превышает погрешность современного цифрового штангенциркуля SHAN производства Guilin Measuring & Cutting Tool Co. Ltd, КНР на 0,03 мм. Предложено обновить список типовых средств измерений, перечисленных в РД, при этом создать отдельный список для специализированных средств измерений. В ряде случаев следует отказаться от обезличенных типовых средств измерений, а использовать реально существующие средства измерений.

Существует несовпадение диапазонов номинальных размеров при нормировании точности с типоразмерами средств измерений. Это в свою очередь приводит к наличию в таблицах методических указаний СИ, которые могут не полностью обеспечивать диапазон номинальных размеров. В качестве решения данной проблемы предложено увеличить количество интервалов номинальных размеров.

По итогу выбора в РД 50-98-86 предлагается весьма ограниченный список подходящих СИ. При этом имеется комментарий о том, что возможно использование без ограничений более точных СИ. Реальное же количество СИ, которые подошли бы для измерений, гораздо больше. При наличии нескольких подходящих средств измерений предложено оценивать оптимальность выбора средств измерений [3].

Важным недостатком рекомендации является то, что процедура выбора средств измерений не учитывает специфику измеряемой поверхности, особенности конструкции детали и СИ. Так, например, штангенциркуль невозможно использовать для измерения диаметра наружной поверхности, который превышает удвоенное значение размера вылета

губок. Определены параметры, влияющие на выбор средств измерений. Параметрами объекта измерений являются: вид измеряемого размера (наружный, внутренний, выступ, глубина); форма измеряемой поверхности (цилиндрическая, плоская, сферическая); номинальный размер; наличие и размеры ограничивающих поверхностей. В качестве параметров СИ, способных повлиять на выбор, будут выступать: тип СИ, диапазон измерений, погрешность измерений, особенности конструкции СИ.

Анализ утвержденной в виде нормативного документа методики выбора универсальных средств измерений линейных размеров, а также ряда её реализующих автоматизированных программ, показал, что на данном этапе проблема автоматизации выбора средств измерений линейных размеров до конца не решена. Существует необходимость создания новой автоматизированной системы, которая будет основываться не на обезличенных СИ, а на реально существующих СИ, включать в себя блок специализированных СИ. Итогом работы системы должен быть полный список СИ, подходящих для измерения с рекомендациями по оптимальности выбора СИ из приведенного списка. Автоматизированная система должна содержать дополнительный модуль, позволяющий определять специфику измеряемой поверхности и ограничения, накладываемые на особенности конструкции выбираемого средства измерения. Выполнение указанных требований позволит значительно снизить неопределенность выбора средств измерений при увеличении производительности работ.

### **Литература**

1. Григорьев С.Н., Телешевский В.И., Глубоков А.В., Педь С.Е., Глубокова С.В. Проблемы метрологического обеспечения подготовки производства в машиностроении // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 27–29.
2. РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81). – М.: Издательство стандартов, 1987. – 83 с.
3. Телешевский В.И., Глубоков А.В., Глубокова С.В. Автоматизированный выбор методов и средств измерения отклонений расположения // Измерительная техника. 2012. № 6. С. 30-33.

**Секция V**

**Литейные технологии**

Председатель:

**Коротченко Андрей Юрьевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-5

Ученый секретарь:

**Савохина Ольга Михайловна**

Старший преподаватель кафедры МТ-5

УДК 621.74.045

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ «КОЛЕСО ТУРБИНЫ»**

Илья Олегович Бабийчук

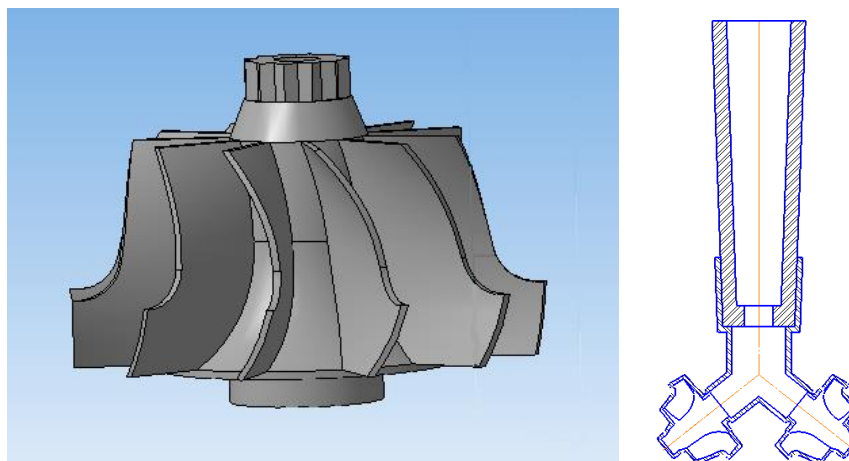
*Студент 6 курса,**кафедра «Литейные технологии»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.А. Мандрик,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Детали типа «Колесо турбины» турбокомпрессора и ряд других деталей из жаропрочных сплавов на хромоникелевой и кобальтовой основе получают методом заливки керамических форм в вакууме.

3D модель детали «Колесо турбины» представлена на рисунке) —Отливка;

б) — Керамическая форма

Рисунок 1.



а) —Отливка;

б) — Керамическая форма

Рисунок 1 – Колесо турбины

Габариты отливок – до 130 мм в диаметре, диаметр формы – до 230 мм.

Сплав Inconel 713С жаропрочный, заливается при температуре 1500-1600 °С, в вакууме или инертной среде [ 1].  $T_{лик}$  1340°С,  $T_{eut}$  1307°С,  $T_{sol}$  1245°С [2].

Плавка в вакууме обеспечивает получение особо чистых сплавов. Кроме того значительно сокращается количество растворенных в металле примесей и газов. Легирующие компоненты не реагируют с атмосферой и не образуют оксидов и нитридов. Индукционная плавка обеспечивает высокую скорость расплавления и повышает коэффициент полезного действия. Для получения качественных отливок необходимо обеспечение направленной кристаллизации [ 3].

В предыдущей статье [4] предлагалась установка, в которой индукторы для нагрева прибыли плавки совмещены на одной позиции.

Данная установка состоит из вакуумной камеры 1, индуктора 2 для плавления мерной заготовки 4, индуктора 3 для нагрева прибыли, вакуумного насоса 5 большой мощности, вакуумного насоса 6 малой мощности, насоса 7 [ 5].

Рассмотрим этапы работы данной установки (Рисунок 2):

— На первом этапе производится установка формы на подъемный стол;

- Далее происходит поднятие стола и закрытие вакуумной камеры;
- Включается вакуумный насос 5 большой мощности, в вакуумной камере создается разрежение (Рисунок 2,а) ;
- После завершения откачки воздуха, вакуумный насос 5 большой мощности отключается и включается вакуумный насос 6 малой мощности, который поддерживает вакуум в камере (Рисунок 2,б);
- Одновременно включается индуктор 2, начинается процесс плавки мерной заготовки;
- При завершении плавки металл заполняет полость формы, включается индуктор 3, выключается индуктор 2 (Рисунок 2,в);
- Так как в вакууме отсутствует конвективный теплообмен, необходимо наполнить камеру газовой средой. Вакуумный насос 6 выключается, включается насос 7, закачивающий в камеру газ; индуктор 3 продолжает работать, нагревая шейку прибыли (Рисунок 2,г). Происходит процесс направленной кристаллизации отливки в контролируемой атмосфере;
- При завершении кристаллизации все системы установки отключаются, камера раскрывается, рабочий достает форму. Цикл повторяется.

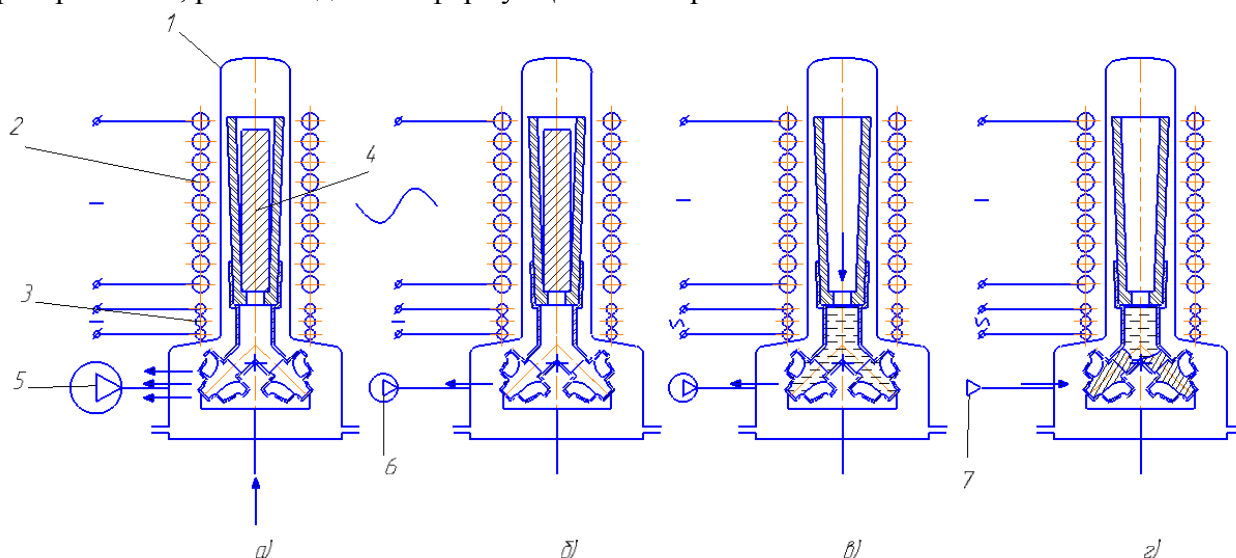


Рисунок 2 – Этапы работы установки

1 — вакуумная камера; 2 — индуктор; 3 — индуктор;  
4 — мерная заготовка; 5 — вакуумный насос; 6 — вакуумный насос; 7 — насос

#### Преимущества:

- Установка состоит из одной машины;
- Исключаются операции по переноске формы из одной установки в другую, что благоприятно влияет на технологический процесс;
- Человеческий фактор не влияет на процессы плавки и кристаллизации отливки;
- Процесс получения отливки становится быстрее, нет лишних потерь перегрева;
- Процесс плавки и заливки происходит в вакууме, процесс кристаллизации проходит в контролируемой среде (в воздухе/инертном газе), температуру и давление которой можно изменять в зависимости от требуемых условий;
- Установка универсальна и подходит как для массового производства, так и для мелкосерийного гибкого производства.

Но в статье не был дан ответ на следующие вопросы:

- Требуется ли подогрев прибыли?

— Обоснованно ли расположение индуктора для подогрева прибыли и плавильного индуктора в одной камере?

В данной статье проводятся расчеты, позволяющие ответить на этот вопрос.

Был более подробно рассмотрен процесс плавки, заливки и затвердевания отливки.

В программе Flow 3D был смоделирован процесс затвердевания отливки с подогревом прибыли и без.

Исходя из расчетов, можно сказать, что:

1. Подогревая прибыль мы можем значительно сократить ее размер, как минимум в 2 раза.
2. Вынося тепловой узел из отливки, мы обеспечиваем процесс направленного затвердевания.
3. Если подогрев прибыли происходит в другой установке, то у нас есть время 15-20 секунд до того, как в отливке начнут образовываться дефекты. На 20 секунде уже отчетливо видна усадочная раковина в теле отливки.
4. На 60 секунде подогрев прибыли можно прекратить.

Также было смоделировано затвердевание отливки при подводе литниковой системы с противоположного торца детали.

Так как после заливки расплава в форму в камеру подается аргон, который дополнительно охлаждает форму, необходимо было исследовать, как данный газ влияет на отливку. На базе Литейного завода КамАЗ был проведен эксперимент, при котором сравнивалась микроструктура отливок, которые в процессе кристаллизации охлаждались газом с отливками, кристаллизовавшимся в воздушной среде.

**Вывод:**

1. Использование индуктора для подогрева прибыли обосновано, так как это сокращает размер прибыли больше, чем в два раза, что (данный сплав дорогой и закупается в форме мерных заготовок) и уменьшает производственный цикл.
2. Расположение индуктора для подогрева прибыли в плавно-заливочной установке исключает образование усадочных раковин, уменьшает цикл плавка-заливка-затвердевание, что повышает производительность установки.
3. Литниковая система, подводимая к противоположному торцу отливки позволяет исключить операцию механической обработки посадочного отверстия под вал.
4. Принудительное охлаждение газом формы в процессе кристаллизации вместе с подогревом прибыли положительно влияет на микроструктуру отливки, уменьшает зернистость, предположительно повышает ее пластичные свойства.

**Литература**

1. Иванов В.Н., Казеннов С.А., Курчман Б.С и др. и под общ. ред. Шкленника Я.И., Озерова В.А. Литье по выплавляемым моделям. Москва : Машиностроение, 1984.
2. Vinczyk F., Swajna J., Roskosz S., Gradon P. Evaluation of Metallurgical Quality of Master Heat IN-713 C Nickel Alloy Ingots. Katowice, Poland : Archives of Foundry Engineering, 2012 г., Т. Volume 12.
3. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). Москва : МИСИС, 2001 г.
4. Бабийчук И. О. Индукционная бестигельная вакуумная плавно-заливочная установка. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция

«Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 4 – 7 апреля, 2017,.

5. Белов В.Д., Фадеев А.В., Иващенко А.И., Бельтюкова С.О. Вакуумная плавка и производство фасонных отливок из титана и титановых сплавов. Москва : Изд. Дом МИСиС, 2013.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГИПСО-ДИНАСА

Сергей Владимирович Букша

*Студент 6 курс, специалитет*

*кафедра «Литейные технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Мандрик,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Традиционно в литье по выплавляемым моделям ЛВМ применяют керамические оболочки на основе этилсиликата. Такой способ получения отливок требует нанесения на модельные блоки много (7-8) слоев суспензии опсыпки песком и керамической крошкой, сушка каждого слоя, вытопка модельного состава (далее МС), прокалка керамической оболочки с опорным наполнителем или без него, удаление керамической оболочки после заливки, это экологически не чистый и длительный процесс [1].

На смену керамическим оболочкам приходит гипсо-динас (далее ГД) [2].

Суть-в баке под вакуумом порошок гипсо-динаса перемешивается с водой (3-4 мин) до получения однородной гипсо-динасовой массы (далее ГДМ), затем в вакууме заливают в опоки (1 мин) и ждут схватывания ГДМ (4-5 минут). После его застывания (20-30 минут) выжигают МС, прокаливают ГД формы, и заливают металл.

ГД состоит из динаса (кварца и  $\alpha$ -кристобалита) в качестве огнеупорного материала, а связующим является гипс (сульфат кальция).

Основные преимущества ГД:

- легкая очистка (легко отделяется от отливки);
- высокие показатели газопроницаемости и текучести формомассы, что позволяет обеспечить отличное качество поверхности и воспроизведения мелких элементов конфигурации отливки;
- нет необходимости наносить на модельный блок несколько слоев суспензии и керамической крошки, с последующей сушкой каждого слоя.

При выборе методики проведения эксперимента необходимо учитывать:

- 1) Время работы с ГДМ ограничено временем ее «жизни» (5-8 минут).



- 2) При продолжительном (больше 8 мин) перемешивании формомасса начинает схватываться, появляются комки, что скажется на качестве формы и отливки.

Предположим, что качество формообразующей поверхности зависит от плотности ГДМ, но нет методики ее определения.

Задачи исследования:

- 1) Разработать методику определения плотности ГДМ.
- 2) Определить какой способ заливки опок лучше поочередно или одновременно.

Плотность некоторых материалов можно определять методом гидростатического взвешивания. [3]

Суть метода: определение плотности методом гидростатического взвешивания осуществляют по результатам двух измерений массы исследуемого образца. Сначала в воздушной среде, затем в жидкости, с известной собственной плотностью. В основе метода лежит закон Архимеда: вначале определяется масса образца в воздухе, затем – в жидкости известной плотности (чаще всего дистиллированная вода), и по формуле, приведенной ниже, рассчитывается плотность.

$$V_{\text{ж}} = \frac{m_{\text{гд}} - m_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}} \quad (1)$$

$$V_{\text{г}} = V_{\text{ж}} \quad (2)$$

$$\rho_{\text{гд}} = \frac{m_{\text{гд}} - m_{\text{ж}}}{V_{\text{ж}}} \quad (3)$$

Где:  $\rho_{\text{гд}}$ - плотность ГД

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность рабочей жидкости

$m_{\text{гд}}$ - масса ГД

Надо ответить на вопрос, можно ли определять плотность ГД данным способом?

Мы не знаем как поведет себя ГД в воде. Поэтому будем проводить взвешивание образца двумя способами: завернув в пищевую пленку (защитная оболочка), и без нее.

Порядок проведения предварительного эксперимента:

- 1) Перемешивание ГД с водой (соотношение 60% на 40%)- (1 минута);
- 2) Вакуумирование ГД (1 мин);
- 3) Поочередная заливка форм ГД (с интервалом 1 мин) и вакуумирование;
- 4) Определение плотности формомассы методом гидровзвешивания;
- 5) Обработка результатов;

Схема эксперимента приведена на рис. 1.

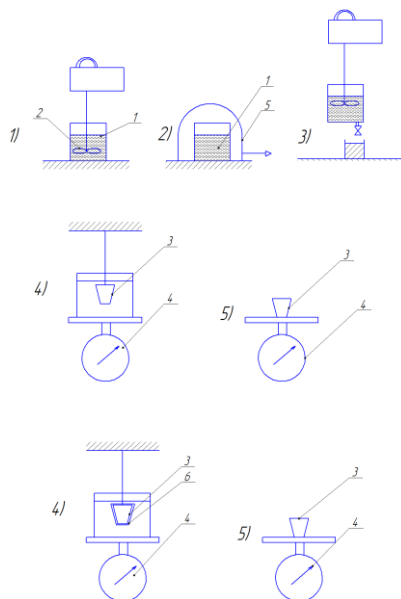


Рис. 1. Схема проведения эксперимента. поз.1-ГДМ;2-мешалка;3-образец;4-весы;5-вакуумный колпак;6-защитная оболочка. 1) Перемешивание гипса (1 мин) 2) Вакуумирование (1 мин) 3) Заливка ГДМ (после окончания приготовления с интервалом 1 мин) 4) Взвешивание образца в воде в защитной оболочке и без нее 5) Взвешивание образца в воздушной среде.

Но при гидровзвешивании с пленкой в образце может остаться воздух, который дает погрешность на результаты взвешивания. С другой стороны образец не может моментально впитать воду, поэтому необходимо посмотреть как изменяется масса образца в воде, затем определить время впитывания гипсом воды и через какое время после погружения образца снимать показания весов.

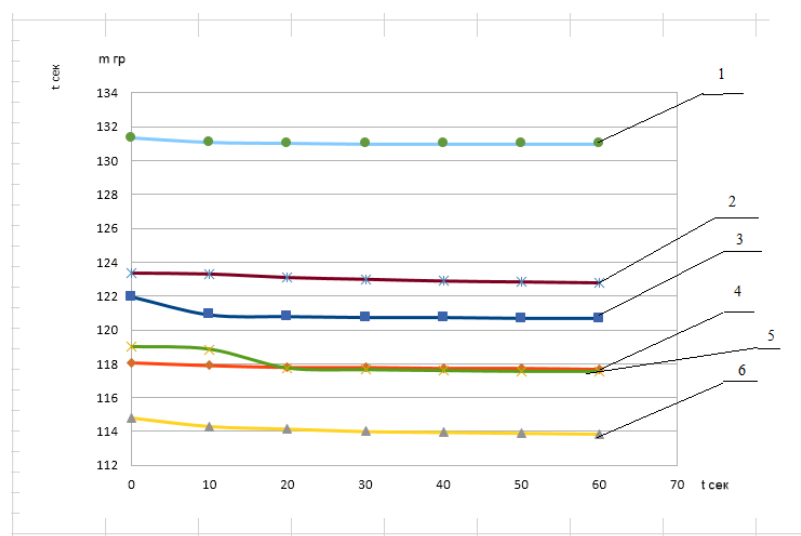
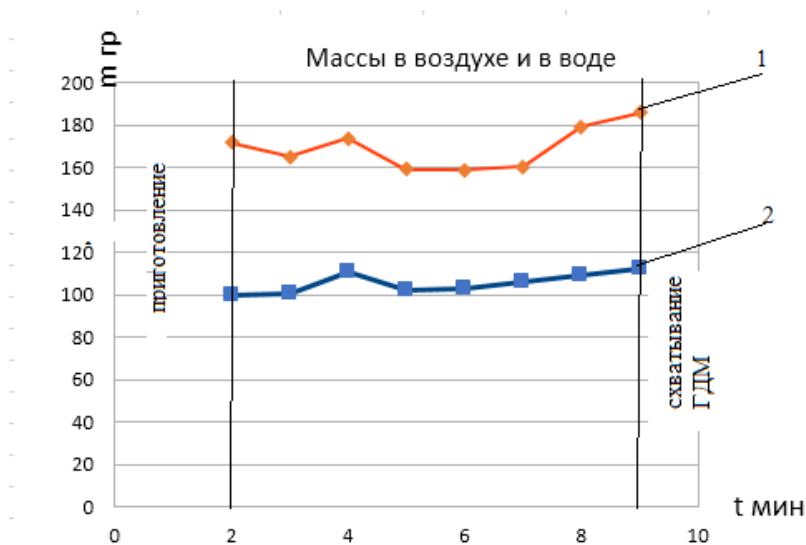


Рис.2 графики изменения массы от времени с момента погружения образца в воду.

Где 1-6 номера образцов,  $m_{гр}$ - масса образца в граммах,

$t_{\text{мин}}$  - время после начала приготовления ГДМ.

Массы образцов изменяются после погружения в воду на 1-2 грамма (менее 1%) до 20-й секунды, а потом постоянные.



**Рис.3** Зависимость масс образцов (в защитной оболочке) от времени перемешивания с момента начала приготовления. Где 1- масса в воздухе, 2-масса в воде,  $m_{гр}$ - масса образца в граммах  $t_{\text{мин}}$ -время заливки формы после начала приготовления ГДМ. Выводы предварительного эксперимента:

1. Можно определять плотность образцов без защитной оболочки в защитной оболочке имеет разброс (из-за воздуха под пленкой).
2. Массу образца определять после 20-й секунды после погружения образца в воду.

При проведении эксперимента будем выполнять поочередную и одновременную заливку.

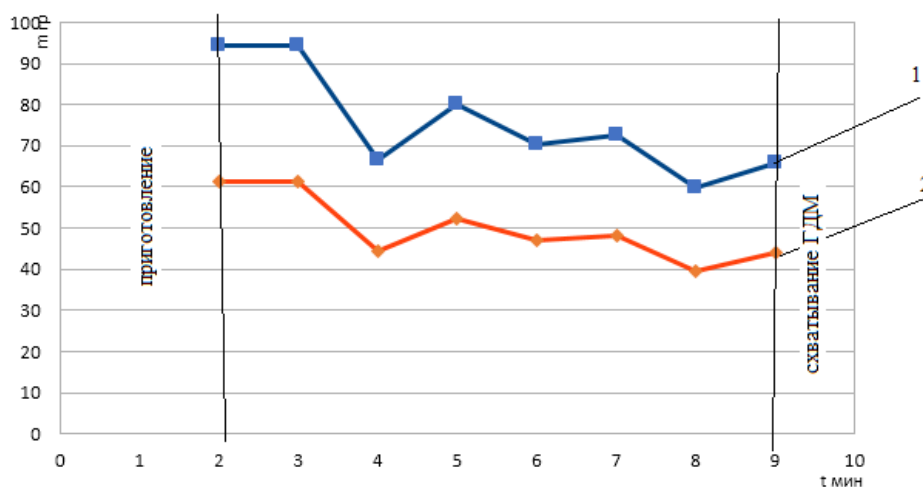


Рис. 4 Массы образцов (без защитной оболочки) в воде и в воздухе при поочередной заливке.

Где 1-масса в воздухе, 2-масса в воде,  $\rho_{г/м^3}$ -плотность образцов в  $г/м^3$   
 $t_{мин}$  – время заливки формы после начала приготовления ГДМ.

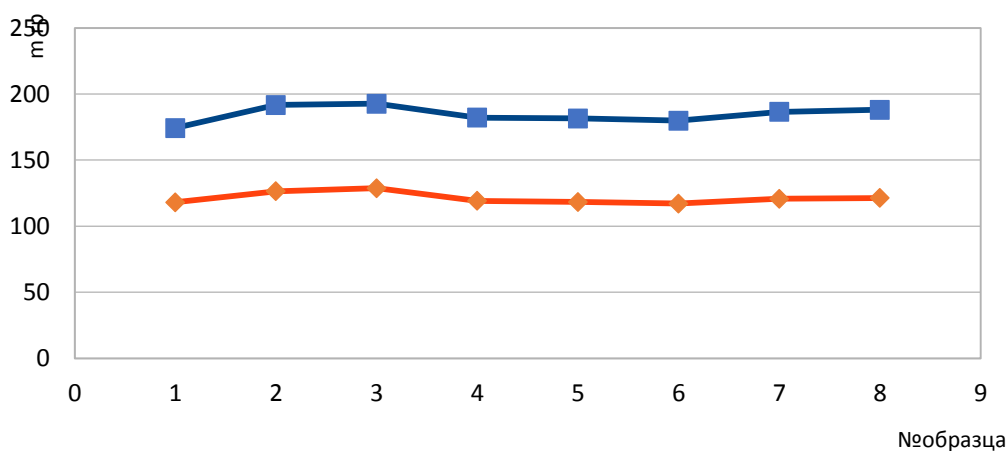


Рис. 5 Массы образцов (без защитной оболочки) в воде и в воздухе при одновременной заливке.

Где 1-масса в воздухе, 2-масса в воде,  $\rho_{г/м^3}$ -плотность образцов в  $г/м^3$ .

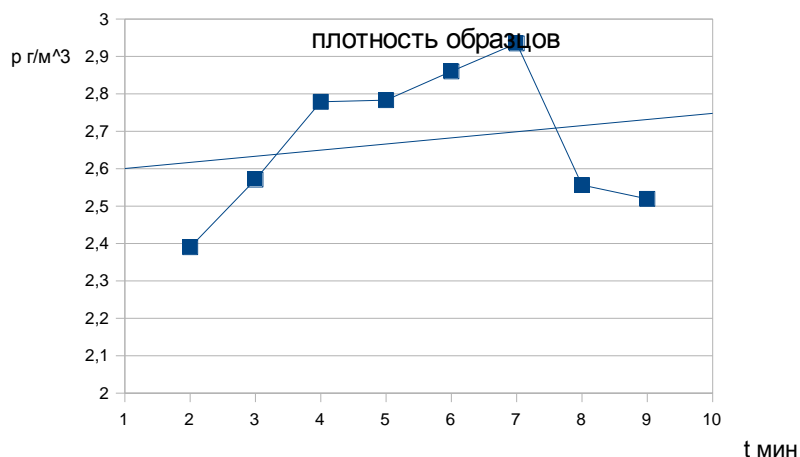


Рис.5 плотность образцов (в защитной оболочке) в зависимости от времени с момента начала приготовления.

Где  $\rho_{г/м:3}$ -плотность образцов в  $г/м^3$   $t_{мин}$ -время заливки формы после начала приготовления ГДМ. Как видно из графика плотность увеличивается с течением времени с начала приготовления ГДМ.

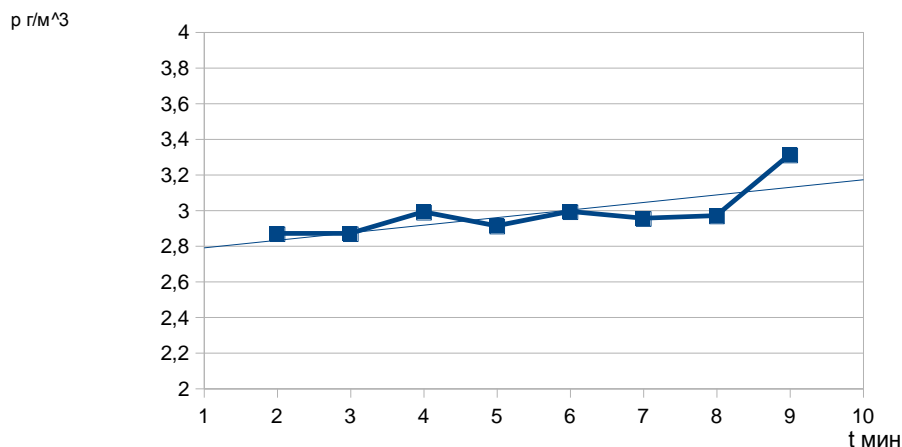


Рис.6 плотности образцов (без защитной оболочки) в зависимости от времени с момента начала приготовления.

Где  $\rho_{г/м:3}$ -плотность образцов в  $г/м^3$   $t_{мин}$  – время заливки формы с начала приготовления ГДМ.

ГДМ схватывается на 9-й минуте и залить форму не удалось.

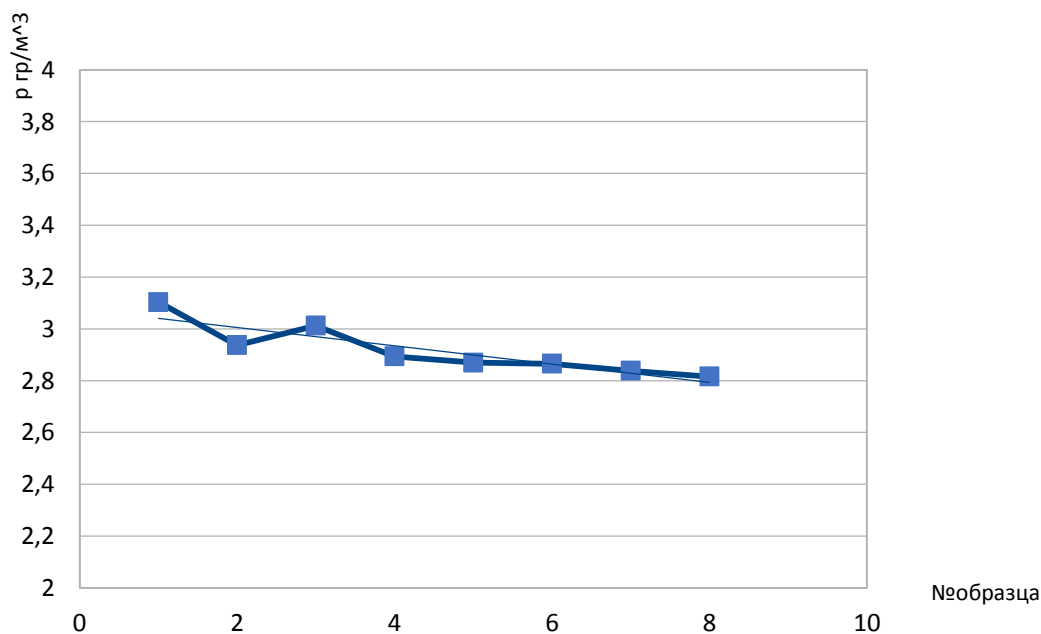


Рис.7 плотности образцов (без защитной оболочки) при одновременной заливке.

Где  $\rho_{г/м^3}$ -плотность образцов в  $г/м^3$ .

Выводы эксперимента: Метод определения плотности ГДМ при гидровзвешивании образца в защитной оболочке имеет большую погрешность. Метод определения плотности ГДМ гидровзвешиванием образца без защитной оболочки имеет меньшую погрешность. Массу образца нужно определять после 15-й секунды его погружения в воду.

#### Литература

1. В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман и др. и под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. Литье по выплавляемым моделям. М.: Машиностроение, 1984.
2. Б. Н. Зотов. 3-88 Художественное литье М.: Машиностроение 1988.

УДК 548.5:621.74.045

### СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТМАСС

Александр Александрович Воронов

Аспирант 1 года,  
кафедра «Машины и технологии литейного производства»  
Московский политехнический университет

Научный руководитель: М.Ю. Ершов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного производства»

Литье под давлением является одним из наиболее прогрессивных методов переработки пластмасс. Изделия и детали, полученные на термопластавтоматах, обладают низкой себестоимостью, нуждаются в минимальной доработке и, при необходимости, могут выпускаться в больших объемах. Детали из пластмасс находят применение в подавляющем большинстве изделий производимых сегодня.

Для заказчика пресс-формы важно получение качественных отливок, которое обеспечивается в большей степени качеством формы и степенью её проработанности. Разработка пресс-формы является не простой задачей, особенно в случае сложной конфигурации отливки.

Однако, наряду с качеством изделия, немалую роль для заказчика играет стоимость отливки, которая складывается из: стоимости пресс-формы, стоимости литья на одну деталь, амортизационной стоимости формы на одну деталь, стоимости материала детали.

В отечественной литературе [1, 2] проектирование пресс-формы начинают с оформления технического задания, которое, как правило, составляется разработчиком пресс-формы и утверждается соответствующей службой заказчика. Техническое задание составляется на основании предоставленных заказчиком исходных данных, включающих: чертеж изделия, тип производства (массовый, серийный и т.д.), годовая программа выпуска, имеющееся оборудование и т.д. Техническое задание является исходным документом для разработки конструкторской документации на оснастку.

Техническим заданием регламентируются основные требования, предъявляемые к конструкции формы, такие как: вид оснастки по универсальности и литниковой системе, конструкция литниковой системы, гнездность, вид обогрева, этажность, положение линии разъема, способ извлечения изделия, привод выталкивающих элементов, установка знаков и арматуры, способ извлечения знаков и т.д.

Разумеется качество составления технического задания и экономические показатели формы сильно зависят от опыта разработчика, что является довольно рискованным фактором.

В зарубежной литературе [3, 4] подход к проектированию пресс-форм несколько иной. Здесь разработчик основополагающей задачей ставит минимизацию себестоимости отлитой детали, что является не простой задачей.

После получения исходных данных разработчик прорабатывает конструкции формы, разница в стоимости которых может отличаться на порядок (например, вследствие использования горячеканальных форм вместо холодноканальных и 30-ти отливок в форме вместо 2-х). Затем производится анализ безубыточности для прогнозирования «чувствительности» конструкции литейной формы к полной стоимости отлитой детали. Предполагается, что для обеспечения наилучшей конструкции формы и оптимальной её стоимости, необходимо:

- разработать несколько различных вариантов литейной формы для заданных объемов производства с различными оценками расходов производства;
- сравнить эти расходы посредством анализа безубыточности.

Разработку концепции и оценку нескольких различных конструкций литейных форм производят до тех пор, пока не будет достигнут приемлемый баланс между более высокими предварительными инвестициями и более низкими значениями предельной стоимости. В случае необходимости клиенту можно предоставить несколько конструкций литейной формы для выбора наилучшей по его мнению.

Однако здесь, выбор конструкции литейной формы не всегда осуществляется только на основании экономических показателей, а скорее с учетом других факторов, таких как:

– необходимость создания такой формы, которая обеспечивала бы быстрый переход на другой цвет детали (в таком случае не удобной в эксплуатации становится горячеканальная форма);

– возможности и предпочтения конкретного литейного производства;

– стратегии экономического литейного производства, заключающиеся в уменьшении затрат и улучшении качества (Например, обычно литейные производства специализируются на определенном типе и габаритах литейных форм, что делает производство максимально гибким и уменьшает потери времени на переналадку при смене форм).

Как видим, подход, применяемый в зарубежных источниках, позволяет более детально и точно рассчитать экономическую эффективность пресс-формы, однако не стоит слишком увлекаться этим подходом, так это может недопустимо затянуть сроки разработки формы.

### Литература

1. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 397 с.
2. Конструирование пресс-форм для изделий из пластических масс / Н.Н. Лейкин; 2-е издание. – Л.: Машиностроение, 1966. – 244 с.
3. Разработка и конструирование литейных форм / Давид О. Казмер; пер. с англ. под ред В.Г. Дувидзона. – Санкт-Петербург : Профессия, 2011. – 493 с.
4. Как делать литейные формы: материалы и технологии, оценка стоимости, конструирование, техническое обслуживание / Георг Менгес, Вальтер Микаэли, Пауль Морен; пер. с англ. 3-го изд. под ред. В.Г. Дувидзона и Э.Л. Калинцева. – Санкт-Петербург : Профессия, 2007. – 639 с.

**УДК 548.5:621.74.045**

### **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛОСКОГО КРИСТАЛЛОТВОРНИКА**

Елена Святославна Иванина

*Аспирант 1 года ,  
кафедра «Машины и технологии литейного производства»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: В.П. Монастырский,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного  
производства»*

Для получения монокристаллических лопаток газовых турбин используется метод направленной кристаллизации с охлаждением формы в расплаве алюминия. Получение монокристалла заданной кристаллографической ориентации обеспечивается применением монокристаллической затравки. В конструкции затравочного узла обычно присутствует спиралевидный кристаллоотборник – геликоид. Существуют многочисленные исследования особенностей конкурентного роста зерен в криволинейном канале кристаллоотборника, ссылки на которые можно найти в работе [1]. Использование этого элемента позволяет повысить качество монокристалла за счет уменьшения количества



зерен с малоугловыми границами, обычно присутствующими в промышленных монокристаллах, в том числе и в затравках.

В настоящее время в промышленности проводятся эксперименты с более простым и более удобным для серийного изготовления плоским зигзагообразным кристаллоотборником. Опираясь на литературные, а также на результаты исследования [1], ясно, что идея применения такого кристаллоотборника требует более тщательного обоснования на основе экспериментальных данных и результатов математического моделирования.

В настоящей работе проведено исследование условий отбора одного зерна в плоском кристаллоотборнике при направленной кристаллизации с зарождением твердой фазы на медном кристаллизаторе. Метод направленной кристаллизации на медном кристаллизаторе (метод Бриджмена) предполагает зарождение зерен со случайной кристаллографической ориентацией, отбор некоторого количества зерен с кристаллографической ориентацией, близкой к преимущественному направлению роста в стартовой зоне отливки и, затем, отбор одного зерна в криволинейном канале кристаллоотборника для формирования монокристаллической отливки. Цель работы состояла в выяснении, насколько эффективен плоский кристаллоотборник для отбора одного зерна.

Для моделирования процесса направленной кристаллизации была использована коммерческая система ProCAST. Моделировался процесс направленной кристаллизации отливки цилиндрической формы из сплава ЖС26. Химический состав сплава и теплофизические свойства керамической оболочки, использованные в расчетах, приведены в работе [1]. Теплофизические свойства сплава были рассчитаны для условий равновесной кристаллизации по его химическому составу в термодинамической базе данных COMPUTERM (ProCAST). Моделирование роста зерен проводилось в модуле CAFÉ для стохастического прогнозирования макроструктуры отливки.

Для получения статистически значимого результата была проведена серия из 30 расчетов роста зерен при одних и тех же условиях направленной кристаллизации.

Макроструктура отливки контролировалась в нескольких поперечных сечениях по высоте стартовой зоны и по высоте плоского зигзагообразного канала, а также в вертикальном сечении отливки, содержащем осевую линию зигзагообразного канала. Монокристалльность отливки контролировалась также в поперечном сечении отливки на выходе из кристаллоотборника.

Во всех вариантах в стартовой зоне происходил конкурентный рост зерен, и отбирались зерна с кристаллографической ориентацией [001] с отклонением от осевого направления не более чем на  $14^\circ$ .

Из расчетов следует, что, при конструкции кристаллоотборника с плоским зигзагообразным каналом, в 20% случаев получается монокристалл, в 80% - два зерна или более с отклонениями в пределах от  $1^\circ$  до  $14^\circ$ .

Таким образом, установлено, что из 30 проведенных расчетов в 6 случаях отливка имеет монокристаллическую структуру, а в 24 - два или более зерен.

Полученные результаты полностью применимы к технологии получения монокристалла на затравке. На основе стохастической модели роста зерен, можно сделать вывод, что, в случае технологии получения монокристалла на затравке, применение плоского зигзагообразного кристаллоотборника в большинстве случаев не приведет к устранению малоугловых границ и улучшению качества монокристалла.

Для повышения качества технических монокристаллических отливок необходимо использовать геликоидальные кристаллоотборники при их изготовлении затравок. При получении затравок с более совершенной структурой, можно отказаться от применения

геликоидов и упростить технологию серийную изготовления монокристаллических отливок.

### Литература

1. *Монастырский В.П., Иванина Е.С., Еришов М.Ю.* Особенности конкурентного роста зерен в криволинейном канале кристаллоотборника при направленной кристаллизации никелевого жаропрочного сплава // *Фундаментальные и прикладные исследования в области создания литейных жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов и высокоэффективных технологий изготовления деталей ГТД: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Москва, 9 нояб. 2017 г.), [Электронный ресурс] / ФГУП «ВИАМ». – М.: ВИАМ, 2017, с. 227-241.*

### УДК 621.74.045

#### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ С ПЛАСТИКОВОЙ ОСНАСТКОЙ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ**

Карина Аридановна Власова <sup>(1)</sup>, Татьяна Дмитриевна Клюквина <sup>(2)</sup>, Александр Андреевич Леонов <sup>(3)</sup>, Сергей Александрович Ларионов <sup>(4)</sup>

*ФГУП «ВИАМ» <sup>(1), (3), (4)</sup>, магистр 1 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Литейные технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Мандрик,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

С развитием машиностроения возникла потребность в производстве большого количества точных однотипных отливок, которые стали формовать с помощью моделей и разъемных опок в песчано-глинистые формы. Во второй половине XIX в. этот способ сделался основным при производстве машиностроительного литья. Эмпирический подход применялся как к подбору оптимальных составов формовочных смесей, так и к установлению физико-механических свойств отливки. Позже получили развитие и специальные методы литья, такие как литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, центробежное литье и др. [1, 2].

Задача данного исследования – на примере детали «Кронштейн» (рис. 1) сравнить усадку нескольких модельных составов. Необходимо было также подобрать наиболее подходящий модельный состав для изготовления выбранной детали с учетом материала оснастки. Деталь «Кронштейн» впоследствии будет изготавливаться способом литья по выплавляемым моделям в керамические формы из сплава АК7ч. [3, 4]. Изготовление детали ориентировано на мелкосерийное производство.



Рис. 1. Восковая модель детали «Кронштейн»

Для отливки детали «Кронштейн» изготавливали пластиковую модельную оснастку с помощью технологии 3D-печати ABS пластика [5, 6]. Данный метод представляет собой технологию послойного создания трехмерного объекта путем укладки расплавленной нити пластика. Форма, используемая для изготовления восковой модели детали «Кронштейн», представлена в разборном виде на рис. 2. Оснастка состоит из элементов, формирующих внутреннюю полость, и кожуха.

Склонность к образованию усадочных раковин на деталях «Кронштейн» определяли по величине линейной усадки при охлаждении модельного состава в форме. В качестве критерия склонности модельного состава к образованию усадки принята глубина усадочной раковины, образующейся в питателях, при затвердевании модельного состава. Величина усадки определяется с помощью штангенциркуля на разрезанных вдоль оси образцах.

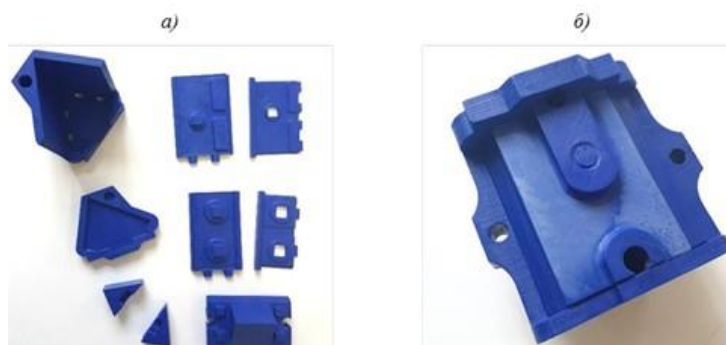


Рис. 2. Пластиковая форма для изготовления детали «Кронштейн» в разобранном (а) и собранном виде (б)

Были выбраны три модельных состава, наиболее часто применяемые в литье по выплавляемым моделям, – ПС50-50, Green Verde фирмы Castaldo и отработанный модельный состав фирмы Freeman в процентном соотношении с парафином 70:30.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Модельный состав	Температура заливки, °С	Глубина усадочной раковины, см
ПС50-50	50±2	3,5
Green Verde фирмы Castaldo	89±3	0,8
Отработанный модельный состав фирмы Freeman в процентном соотношении с парафином 70:30	80±2	1,2

По результатам эксперимента было выявлено следующее: наибольшей склонностью к усадке обладает модельный состав ПС50-50, наименьшей – модельный

состав марки Green Verde фирмы Castaldo. При использовании модельного состава Green Verde модели получают с гладкой поверхностью и минимальным количеством дефектов. Восстанавливать модель требуется только в том случае, если на ее поверхности появляются пузырьки воздуха, замешанные при заливке модельного состава.

### Литература

1. *Иванов В.Н., Казеннов С.А., Курчман Б.С. и др.* Литье по выплавляемым моделям. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 408 с.
2. *Трухов А.П., Сорокин А.Ю., Ершов М.Ю. и др.* Технология литейного производства: Литье в песчаные формы: учеб. М.: Академия, 2005. 528 с.
3. *Дуюнова В.А., Волкова Е.Ф., Уридия З.П., Трапезников А.В.* Динамика развития магниевых и литейных алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии.* 2017. №8. С. 225–241. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-225-241.
4. *Каблов Е.Н.* Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы.* Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
5. *Каблов Е.Н.* Аддитивные технологии – доминанта национальной технологической инициативы // *Интеллект и технологии.* 2015. №2 (11). С. 52–55.
6. *Петрова Г.Н., Сапего Ю.А., Ларионов С.А., Платонов М.М., Лантев А.Б.* Пожаробезопасные термопластичные материалы для 3D-технологии // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №9. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.01.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-9-7-7.

### УДК 621.74.045

## АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК И ИХ ОБРАТНАЯ ОЦЕНКА

Алёна Игоревна Кузнецова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Машины и технологии литейного производства» им. П.Н. Аксёнова  
Московский Политехнический Университет*

*Научный руководитель: В.В. Солохненко,*

*кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Машины и технологии литейного производства» им. П.Н. Аксёнова*

Специалистами кафедры «Машины и технологии литейного производства» Московского Политеха была разработана технология литья по выплавляемым моделям в формы из жидкостекольной холоднотвердеющей смеси с жидким сложноэфирным отвердителем [1].

Основной проблемой в процессе разработки и реализации технологии явилось разупрочнение жидкостекольной смеси при нагреве, характерная особенность, отмеченная многими исследователями [1, 2, 3]. Для преодоления этого был применён способ низкотемпературной прокалки (400...450 °С) в условиях слабоокислительной атмосферы. В результате этого, впитавшиеся на этапе вытопки модельный состав не выгорал полностью. Происходила его деструкция с образованием лёгких углеводородов, уходящих из формы, и тяжёлых коксообразных веществ, упрочняющих смесь. Однако вопрос о допустимом колебании свойств жидкостекольной смеси и влиянии этих колебаний на

качество отливок требует рассмотрения. По данным работы [4] до 60% дефектов возникают по вине некачественных формовочных материалов и смесей.

В общем случае для всех отливок, качество может оцениваться по двум критериям – соответствие установленным параметрам точности, согласно ГОСТ Р 53464-2009 [5] и отсутствию дефектов литья. Анализ литературных источников позволил выделить свойства формовочной смеси в наибольшей степени, влияющие на точность и образование внешних и внутренних дефектов – прочность осыпаемость, газопроницаемость и газотворность [6, 7].

Результат анализа основных свойств песчаных смесей позволил выявить интервалы колебания их значений.

На рисунке 1 показаны значения прочности и осыпаемости песчано-глинистой (ПГС), песчано-смоляной смеси (ХТС) и жидкостекольной смеси (ЖС). Для песчано-жидкостекольной смеси указаны три значения - исходное состояние (температура 20 °С, ЖС), после нагрева до температуры 400 °С (ЖС нагретая) и упрочнённая коксообразными веществами после вытопки модельного состава при температуре 200 °С и прокатке при температуре 400 °С (ЖС упрочнённая).

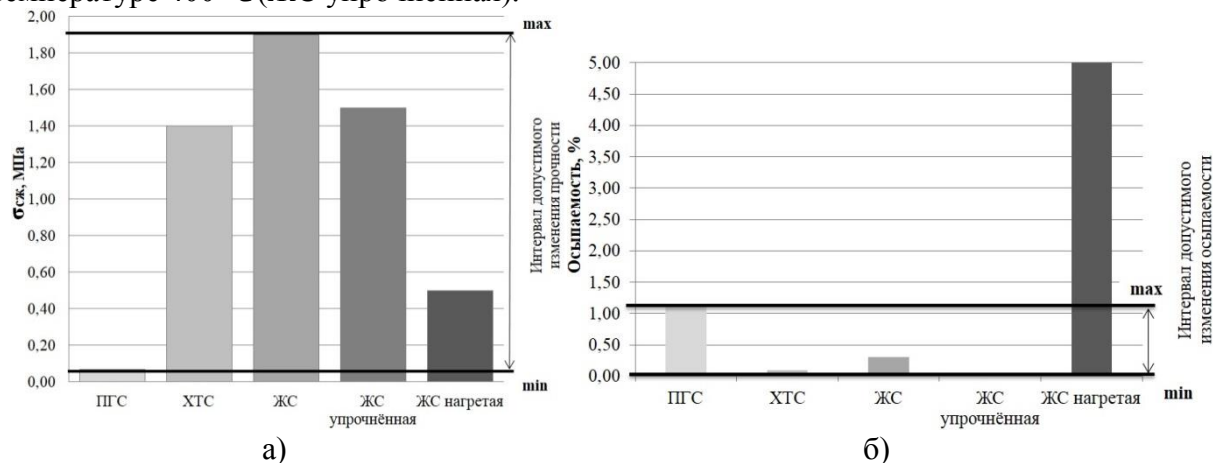


Рисунок 1. Прочность на сжатие (а) и осыпаемость (б) формовочных смесей.

Из рисунка 1 а видно, что при нагреве даже с учётом упрочнения коксообразными веществами, прочность жидкостекольной смеси ухудшается. Однако остаётся выше минимального значения, характерного для песчано-глинистой смеси.

Отливки, полученные литьем в ПГС, обладают допустимым качеством, а значит, снижение значения прочности жидкостекольной смеси в процессе нагрева, не должно привести к серьёзному ухудшению качества литья.

Осыпаемость жидкостекольной смеси при нагреве увеличивается в пять раз и превышает минимально допустимое значение 1,1 %, характерное для песчано-глинистой смеси (рисунок 1 б). В результате этого в отливке могут возникнуть засоры. Упрочнение коксообразными веществами жидкостекольной смеси полностью решает эту проблему.

На рисунке 2 показана газопроницаемость и газотворность формовочных смесей.

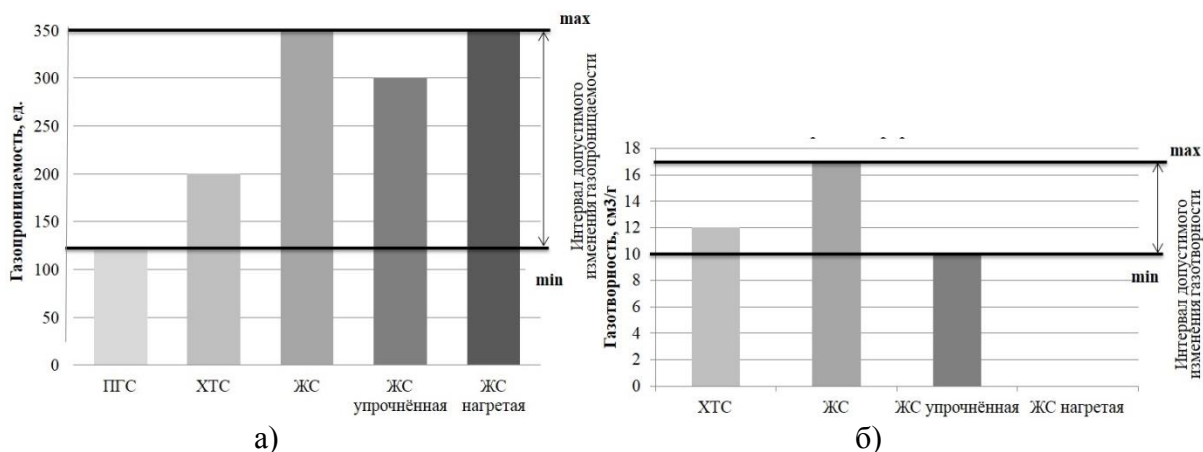


Рисунок 2. Газопроницаемость (а) и газотворность (б) формовочных смесей.

Из рисунка, видно, что, не смотря на наличие в жидкостекольной смеси упрочняющих коксообразных веществ, газопроницаемость (рисунок 2 а) попадает в допустимый интервал значений, а газотворность (рисунок 2 б) такой смеси не превышает максимально возможного значения, характерного для не нагретой жидкостекольной смеси. Это объясняется отсутствием свободной влаги, в отличии от не нагретой смеси, и присутствием коксообразных веществ, сходных по составу со смоляным связующим ХТС, которые будут газифицироваться при заливке металлом

Из результатов, представленных выше, видно, что для основных свойств формовочных смесей можно выделить допустимые интервалы изменения, в рамках которых возможно получение качественной отливки.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности изменения технологических факторов процесса литья по выплавляемым моделям в формы из жидкостекольной холоднотвердеющей смеси и его совершенствовании. Самым перспективным направлением будет являться снижение содержания жидкого стекла в смеси менее 3,5%. Допустимый интервал изменения прочности равный 1 МПа (ЖС упрочнённая – ЖС нагретая, рисунок 1 а) позволит реализовать это снижение. А компенсация разупрочнения за счёт коксообразных веществ будет способствовать удержанию осыпаемости смеси в необходимых пределах (ПГС – ЖС упрочнённая, рисунок 1 б).

Вторым направлением совершенствования технологии будет поиск оптимальных термо-временных режимов обработки литейных форм при вытопке модельного состава и прокалики форм. Указанное направление позволит уменьшить газотворность жидкостекольной смеси и снизить опасность возникновения газовых дефектов.

### Литература:

1. Солохненко В.В. Разработка технологии литья по выплавляемым моделям в формы из жидкостекольной холоднотвердеющей смеси с жидким сложноэфирным отвердителем (кандидатская диссертация). – Москва, 2017, 168 с.;
2. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник./ С. С. Жуковский, Г. А. Анисович, Н. И. Давыдов, и др.; Под общ. ред. С. С. Жуковского. — М.: Машиностроение, 1993. — 432 с.: ил.;
3. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 216 с.;
4. О.И. Пономаренко, Н.С. Евтушенко. Технологический процесс получения холоднотвердеющих смесей на основе олигофурфурилоксисилаксановых связующих./ Литьё и металлургия. 2016. № 2. С. 31-38;

5. ГОСТ Р 53464-2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку (с Изменениями N 1, 2). 2010 г.;
6. *Голотенков О. Н.* Формовочные материалы: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 164 с.: ил. 25, табл. 56, библиогр. 14 назв.;
7. Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы: Учебник для студ. Высш. Учеб. заведений./ *А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов* и др.; Под ред. А.П. Трухова. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.

**УДК 621.74**

## **РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛОКОЛОВ В РАЗОВЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ**

Константин Александрович Лукашик

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Машины и технология литейного производства» им. П.Н. Аксёнова  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель Д.С. Бурцев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного  
производства» им. П.Н. Аксёнова.*

Колокол относится к уникальному изделию, которое на протяжении нескольких тысячелетий получается с помощью литейных технологий, различающихся применяемыми материалами и технологическими режимами. В настоящее время производством колоколов занимается около десяти предприятий России, использующие различные методы литья. Все технологии (методы литья) включают общую последовательность операций и процессов: дизайн-проектирование и изготовление модельно-опочной оснастки, изготовление литейной формы, расплавление металла, заливку металла в форму, его кристаллизацию и последующее извлечение отливки из формы. Все вышеперечисленные технологические этапы влияют на формирование точности изготовления отливки колокола, что в свою очередь может существенно изменить его частотные характеристики. Таким образом, изучение названной совокупности является актуальной научной и технической задачей.

Для выявления формирования точностных параметров, была создана твердотельная трехмерная модель колокола, диаметром 142.3 мм, нотой Соль#5 с частотой 1661Гц. На трехмерной модели колокола отсутствует корона, так как она не оказывает никакого влияния на акустические свойства колокола [1]. Для получения отливки колокола с заданными геометрическими и частотными характеристиками, была спроектирована модельная оснастка с учетом технологии литья в ХТС. Выбранная технология литья допускает использование беспочных литейных форм, поэтому при проектировании учитывали особенность сборки и центрирование таких форм без направляющих штырей с помощью замков.

Модельную оснастку изготавливали из двух материалов. Для подложек и частей замков использовать МДФ, а для моделей формирующих наружный и внутренний профили, специальный модельный пластик NECURON 651. В качестве финишной



операции применяли пескоструйную обработку поверхности, так как она минимизирует обрабатываемость поверхностного слоя. После финишных операций в верхней части колоколов необходимо было просверлить отверстие диаметром 10 мм, чтобы центрировать результаты измерений наружного и внутреннего профилей в программе ГеоКон. Измерения модельной оснастки, литейных форм и опытных образцов колоколов осуществлялись на координатно-измерительной машине (КИМ) Inspector MAXI 610V фирмы Olivetti, с целью установки современной электроники и вычислительного комплекса. Погрешность измерений КИМ составляет  $\pm(4+L/250)$  мкм.

Результаты измерений частей модельных плит, оформляющих наружный и внутренний профили колокола, совмещенные с математической моделью, показаны на рисунке 1. Синего цвета значения показывают отклонения в тело математической модели, т.е. в меньшую сторону (-), красного цвета наоборот. Разброс отклонений для наружного профиля составляет от -0.092 до 0.279мм, для внутреннего профиля от -0.081 до 0.229мм.

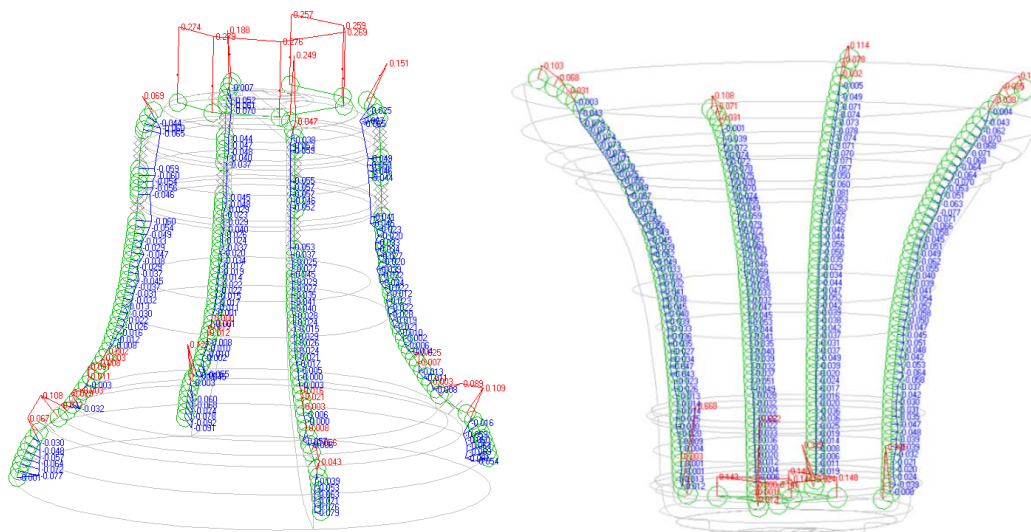


Рисунок 1. Результаты измерений частей модельных плит, оформляющих наружный и внутренний профили колокола, совмещенные с математической моделью.

Результаты измерений частей литейных полуформ низа и верха, формирующих внутренний и наружный профиль колокола, на жидкостекольном связующем и КФ-90 показали одинаковый характер отклонений. В нижней части профиля нижней полуформы, где формируется наибольший диаметр колокола, отклонения составляют от 0.086 до 0.21мм в большую сторону. Выше по профилю величина отклонений уменьшается, и составляет уже 0.01мм. На всех полуформах верха наблюдаются отклонения в большую сторону. В верхней части профиля наблюдаются отклонения от 0.09 до 0.1мм. С увеличением внутреннего диаметра литейной полуформы верха, отклонения увеличиваются и в верхней части составляют 0.4 мм). Полученные результаты свидетельствуют о всестороннем расширении ХТС на жидкостекольном связующем и КФ-90. Данный эффект был установлен в диссертациях Кофтанникова А.С. и Солохненко В.В.[2, 3-5, 6], однако количественных значений найдено не было, так как при литье машиностроительных отливок общего назначения, точность десятого порядка не существенна, а достигается механической обработкой.

Из результатов измерений опытных образцов отливок колоколов было замечено, что в верхней части опытного образца внутренний профиль меньше математической модели порядка 0.3 мм, а отклонения наружного профиля составляют порядка 0.4 мм, тоже в меньшую сторону. С увеличением диаметра опытного образца, отклонения внутреннего профиля начинают уменьшаться и на высоте первых поясков составляют уже



порядка 0.09мм. Порядок отклонений наружного профиля тоже уменьшается с увеличением диаметра, однако там где располагаются пояски и чуть выше, присутствуют отклонения в большую сторону, что скорее всего вызвано высокой шероховатостью поверхности.

Также был проведен анализ звукового спектра полученных опытных образцов колоколов, для удобства результаты звукового спектра были переведены в табличный вид (таблица 1). Из таблицы видно, что частоты нот опытных образцов отлитых в ХТС на жидкостекольном связующем и КФ-90 схожи.

Таблица 1. Частотные характеристики опытных образцов

№ образца	Частотные характеристики звукового спектра, Гц		
	Основной тон (расчетный 1661)	1-ый обертон (расчетный 2217.4)	2-ой обертон (расчетный 3332)
1	1703	2306	3449
2	1703	2263	3449
3	1704	2281	3440
4	1703	2328	3470
5	1701	2313	3435
6	1703	2320	3479

Из таблицы 1 видно, что все частотные характеристики опытных образцов имеют значения выше заданных (основной тон 1703 Гц). Это связано с тем, что проектируемый наибольший диаметр колокола должен был составлять 142,3мм, а в результате опытные образцы имеют наибольший диаметр 142мм, это вызывает равномерное повышение всех частот звукового спектра на 43% относительно проектируемой частоты до следующей ноты. Данные выводы также подтверждаются численным моделированием.

### Литература

1. *Бурцев Д.С.* Конструктивное и технологическое обеспечение функционально-эстетических свойств колоколов: канд. тех. наук: 17.00.06/ Бурцев Дмитрий Сергеевич; Московский государственный университет приборостроения и информатики. - М., 2013. - 147с.
2. *Солохненко В.В.* Разработка технологии литья по выплавляемым моделям в формы из жидкостекольной холоднотвердеющей смеси с жидким сложноэфирным отвердителем: канд. тех. наук: 05.16.04/ Солохненко Василий Васильевич; Государственный научный центр «ЦНИИТМАШ». – М., 2017. – 168с.
3. *Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник./ С. С. Жуковский, Г. А. Анисович, Н. И. Давыдов, и др.; Под общ. ред. С. С. Жуковского.* — М.: Машиностроение, 1993. — 432 с.: ил.

4. Технология литейного производства: Формовочные и стержневые смеси. Под ред. С.С. Жуковского, А.Н. Болдина, А.И. Яковлева, А.Н. Поддубного, В.Л. Крохотина. Брянск: Издательство БГТУ, 2002. – 470 с.
6. Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник. – М.: Машиностроение, 2006 г. – 507 с.
7. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. - М. «Машиностроение», 1989 г. - 285с.

**УДК 548.5:621.74.045**

### **ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ РАКОВИН ПРИ ЛИТЬЕ В ФОРМУ, НАПЕЧАТАННУЮ НА 3D-ПРИНТЕРЕ S-MAX FURAN.**

Андрей Анатольевич Москаленко

*Магистр 2 года*

*кафедра «Машины и технологии литейного производства»*

*Московский Политехнический университет*

*Научный руководитель: А.И. Маляров,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного производства»*

В работе рассмотрены причины, приводящие к браку по газовым раковинам при литье в песчано-смоляную форму, отпечатанную на 3D-принтере S-Max Furan.

Задачи работы: изучить причины, приводящие к браку; выдвинуть рекомендации по их устранению; преодолеть брак по газовым раковинам.

Форма имеет высокую газотворность, поэтому первое, что было предложено, это увеличить размер зерна песка, для лучшего отвода газов из формы. Но данное предложение не увенчалось успехом, так как переход на более крупное зерно, способствовал ухудшению качества поверхности.

Чтобы продолжить изучение причин, приводящих к браку, был воспроизведен процесс формирования формы в лабораторных условиях, используя те же компоненты, что и на 3D-принтере. Из экспериментов определена зависимость прочности образцов холодно-твердеющих смесей от плотности; прочности от содержания смолы.

Установив зависимости, стало понятно, что большую роль, примерно в три раза, играет зависимость прочности образцов от плотности, нежели прочности от содержания смолы. В связи с этим подробно был разобран механизм уплотнения на принтере S-Max.

Процесс уплотнения смоделированный в T-flex, позволил установить оптимальный угол наклона ножа, который составляет менее 1°, а величина вертикального хода эксцентрика установлена с помощью индикатора часового типа, равная 0,07мм.

Таким, образом механизм уплотнения можно разделить на три этапа:

- 1) Насыпная плотность при вибрации;
- 2) Формирование плотности за счет угла наклона ножа;
- 3) Формирование плотности под воздействием вертикального хода эксцентрика.

Устранить брак можно, но только, если подходить к этому вопросу комплексно. Используя установленные зависимости, необходимо варьировать увеличением

уплотнения и уменьшением содержания количества содержания смолы, тем самым уменьшая газотворность формы.

### **Литература**

1. Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Ершов М.Ю., Благодоров Б.П., Минаев А.А., Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы. Учебник. — М.: Академия, 2005. — 528 с. — (Высшее профессиональное образование). — ISBN 5-7695-1757-3.

**УДК 53.084.823**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК В ПРОГРАММЕ FLOW 3D**

Нурлан Фейзуллаевич Нуралиев

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Литейные технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Ю. Коротченко,*

*доктор наук, профессор кафедры «Литейные технологии»*

В программе FLOW-3D имеется возможность моделирования затвердевания отливок. Программа имеет два режима: «Cast iron solidification» — применяется к чугунным отливкам и «по умолчанию» — применяется ко всем остальным. В результатах моделирования наибольший интерес представляет объём усадочной раковины.

Режим «по умолчанию» не учитывает происходящие в чугуне фазовые превращения. Для расчёта изменения объёма отливки учитываются только значения плотности в жидком и твёрдом состоянии.

Режим «Cast iron solidification» позволяет рассчитывать изменение плотности в жидком состоянии в зависимости от температуры заливки, химического состава чугуна. Данная модель позволяет учесть особенности формирования усадочных раковин в чугунных отливках.

### **Литература**

1. A. Starobin, M.C. Carter, "Modeling Volume Changes and High Temperature Microstructure in Cast Iron," Flow Science Technical Note FSI-11-TN89, 2011.
2. Н.Г.Гиршович. Справочник по чугунному литью. - М.: Издательство МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1978.
3. А.П.Трухов. Литейные сплавы и плавка. - М.: Издательство «Академия», 2004.

**УДК 621.78; 673.5**

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ ПРИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТКАХ**

Дмитрий Вячеславович Толкачев

*Аспирант 4 года,*

*кафедра «Машины и технологии литейного производства» им. П.Н. Аксенова  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: М.Ю. Ершов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного производства» им. П.Н. Аксенова*

Первые исследования по применению термической обработки для настройки колоколов на заданную ноту были выполнены сотрудниками кафедры МиТЛП Университета машиностроения. Бурцеву Д.С. [1] удалось на одном размере колоколов из оловянной бронзы получить четыре ноты одной октавы. Настройка на большее число нот для колоколов из оловянных бронз невозможна, вследствие исчерпания диапазона изменения механических свойств при термической обработке. Лисовский В.А. и Лисовская О.Б запатентовали материал для изготовления колоколов или элементов ударных музыкальных инструментов содержащий медь, олово, свинец и дополнительно сурьму [2].

Для расширения функциональных возможностей проектирования и настройки колоколов на заданную ноту, возникает необходимость в замене оловянной бронзы на безоловянную, с более широким спектром физико-механических свойств.

В качестве кандидатного материала была выбрана многокомпонентная алюминиевая бронза, которая освоена промышленностью и является заменителем целого ряда оловянных бронз.

Исследовали влияния скорости охлаждения отливки на формирование структур [3] многокомпонентной алюминиевой бронзы в литом и термообработанном состояниях.

Предметом исследования были, отлитые в кокиль из нержавеющей стали, цилиндрические отливки Ø14x100 мм. Охлаждение отливок производили со скоростями: 250 °С/мин – отливка №1 и 45 °С/мин – отливка №2. Различные скорости охлаждения получали за счёт охлаждения водой (отливка №1) и на воздухе (отливка №2). Скорость охлаждения определяли как частное от деления установленного интервала температур

1100 °С – 30 °С на время от момента заливки до достижения нижнего предела температуры.

От литых образцов отрезали 4 темплета толщиной 10мм. 3 темплета от каждой отливки подвергали последующей термической обработке, 4 темплет оставили в исходном состоянии. Режимы термической обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы термической обработки

№	Режим
1	Нагрев вместе с печью до 950°С, выдержка 15 минут, охлаждение в воду.
2	Нагрев вместе с печью до 890°С, выдержка 15 минут, охлаждение в воду.
3	Нагрев вместе с печью до 840°С, выдержка 1 час, охлаждение в воду.

Металлографические исследования показали слабое влияние скорости охлаждения на литую структуру. Однако, литая структура, полученная при различных скоростях охлаждения, обладает «памятью», которая проявляется при последующей термической обработке.

Установлено, что структуры, полученные после термической обработки при температуре 950°С, для отливок №1 и №2 существенно различаются. Это различие проявляется в том, что у образца с меньшей скоростью охлаждения значительно увеличивается размер зерна по сравнению с образцом с высокой скоростью охлаждения.

При термической обработке при температурах 890°С и 840°С процессы формирования новых структур протекают практически одинаково, но у образцов с меньшей скоростью охлаждения наблюдается образование дендритной ликвации с областями обогащенными более легкоплавким элементом алюминием.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что на микроструктуру образцов после разных термических обработок, на протекание процессов и формирование новых структур сильное влияние оказывает скорость охлаждения отливки. Твердость сплава при различных режимах термической обработки значительно изменяется. Получение различных структур при однократной термической обработке предполагает различные акустические свойства сплава и положительно скажется на энергозатратности.

### Литература

1. *Бурцев Д.С.* Конструктивное и технологическое обеспечение функционально-эстетических свойств колоколов: дисс. 17.00.06 канд. техн. наук. М., 2013. 147с.
2. *Лисовская О. Б., Лисовский В. А.* Материал для изготовления колоколов и звучащих элементов ударных музыкальных элементов: пат. 2265894 Российская федерация. 2004. Бюл. № 34. 4 с.
3. *Бурцев Д.С., Ершов М.Ю.* Роль микроструктуры в формировании частотных характеристик колоколов// *Дизайн. Теория и практика.* 2012, №11. с 32-40

УДК 621.74.06

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ММ-ПРОЦЕССА

Максим Дмитриевич Филатов

Студент 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Ю. Коротченко,  
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Литейные технологии»*

Конечной целью любого процесса смесеприготовления является получение однородной гомогенной массы из исходных компонентов. Смесители для пластмасс обеспечивают получение гомогенных композиций с различными физическими свойствами. Гомогенизация полимеров достигается за счет теплопередачи от внешних нагревателей и за счет внутреннего разогрева из-за диссипативного тепловыделения. Смешение осуществляется в вязкопластическом состоянии, причем благодаря значительному сдвигу достигается высокая степень диспергирования. Такой же эффект достигается в настоящее время и непосредственно в процессе переработки наполненных полимеров (например, при экструзии).

В данной работе были рассмотрены три основных типа смесителей, применяемых для приготовления фидстока: лопастной, шнековый и валковый. Были выявлены преимущества и недостатки каждого типа, проведен логический и программный анализ.

Для проведения логического анализа был выявлен ряд критериев, влияющих на удобность, пригодность, технологичность применения того или иного типа смесителей. К ним относятся: гомогенность выходного продукта; компактность; энергоэкономичность; производительность; возможность получения гранулянта; возможность автоматизации; удобность подогрева рабочих органов; удобность дозирования компонентов; модульность. Произведено балловое ранжирование исходя из значимости критерия (на эмпирическом уровне).

Для проведения программного анализа пригодности была использована методика выбора лучшего варианта по комплексному показателю. Она содержит процедуры и рекомендации формирования исходных данных для выбора лучшего варианта решения; определение состава, показателей, характеризующих объект проектирования с позиции целевого назначения, разработки нескольких вариантов, из которых надо выбрать лучший, процедуры определения значения принятых показателей для каждого варианта решения и выбора лучшего варианта с учётом значения всех показателей и различного их вклада в общую оценку. За основу выбора критериев был взят логический анализ.

На основании программного расчета (использовании программы «Выбор») была выбрана оптимальная конструкция смесителя для МПМ-процесса – шнековый смеситель.

### **Литература**

1. Рузавин Г.И. Методы научного исследования. – М.: «Мысль», 1975. – 237 с.
2. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. – М.: «Машиностроение», 1975. – 504 с.

### **УДК 621.47**

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОСЫПАЕМОСТИ САМОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ**

Софья Александровна Яшина

*Магистр 1 года,  
кафедра «Литейные технологии»  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. А. Мандрик,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Литейное производство – основа заготовительной базы современной промышленности. В различных отраслях доля литых изделий составляет от 30 до 90%.

Из всего объема отливок более 70% изготавливается в разовых литейных формах (рис. 1).

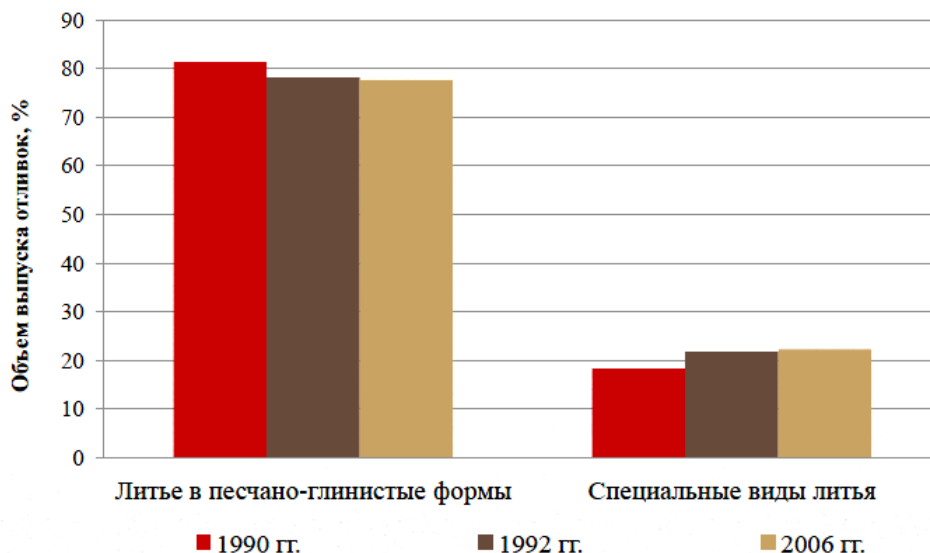


Рис. 1 – Структура литейного производства по технологическим процессам

Согласно анализу данных количество стержней, изготовленных из самотвердеющих смесей, в США по состоянию на 2016 г. составляет более 23 %. Для сравнения, доля стержней, получаемых с применением смесей, которые отверждаются с помощью продувки газами, составляет 15 %.

Таким образом, был сделан вывод о том, что самотвердеющие смеси являются наиболее применяемыми для изготовления форм и стержней в литейном производстве.

Процессы, основанные на применении самотвердеющих смесей, отверждаемых в холодной оснастке под действием жидких или порошковых отвердителей, используют для получения отливок различной конфигурации из цветных и черных сплавов, они могут отвечать различным требованиям по производительности, качеству (в т.ч. размерной точности, точности массы, качеству поверхности, экологичности) и т.д.

В большинстве составов самотвердеющих смесей используются смолы. В настоящее время в литейном производстве используются следующие виды смол:

1. Смолы для кислотного процесса формовки с применением холоднотвердеющих смесей (ХТС):

- фенольные смолы типа резола;
- фурановые смолы с азотом или без него;
- фенол-фурановые смолы с азотом или без него.

2. Смолы для щелочного процесса формовки с применением ХТС:

- фенольная смола типа резола с высоким содержанием гидрата щелочи.

3. Смолы с уретановой связью:

- фенольные смолы типа дибензилового эфира в различных ароматических растворителях.

В данной работе рассматривались области применения различных смол, технологические характеристики, а также свойства ХТС на их основе.

Для работы со смесями на смолах необходимо понимание взаимосвязи состава и свойств смеси, контроль показателей компонентов смесей.

Одним из свойств формовочных смесей, влияющих на качество отливок, является осыпаемость. В работе было проанализировано, какие факторы оказывают влияние на это свойство и какие дефекты могут возникать в отливках при высокой осыпаемости.

Цель дальнейших исследований – поиск оптимального соотношения компонентов для нескольких типов ХТС.

### **Литература**

1. *Кукуй Д.М.* Теория и технология литейного производства: учебник/ Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, Н.В. Андрианов. В 2 ч. Ч. 1. Формовочные материалы и смеси. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 384 с.
2. *Жуковский С.С.* Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.; ил.
3. *Галанте Г.* Формовка с применением ХТС. Наш взгляд. Часть 1. – Италия: IMF Луино, 1997 г.
4. *Галанте Г.* Формовка с применением ХТС. Наш взгляд. Часть 2. – Италия: IMF Луино, 1997 г.
5. *Жуковский С.С.* Прочность литейной формы. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.



**Секция VI**

**Оборудование и технологии обработки давлением**

Председатель:

**Евсюков Сергей Александрович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
МТ-6

Ученый секретарь:

**Рыжкова Александра Александровна**

ассистент кафедры МТ-6

**УДК 669.014**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕРМОМЕХАНОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ГЕТЕРОФАЗНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ.**

Илья Валерьевич Бойко, Павел Михайлович Гусев

*Студенты 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.Н. Кокорин, доктор  
технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»*

Проведённый анализ современного состояния исследований в области защиты от коррозии металлов обуславливает следующее: электрохимическая защита, заключающаяся в регулировании электродного потенциала металла, основана на характерной зависимости скорости коррозионных процессов от электродного потенциала металлов и сплавов, способных пассивироваться и оставаться пассивными в сравнительно широком диапазоне значений их потенциалов (большинство переходных металлов и сплавов на их основе, включая нержавеющие и углеродистые стали). Металл пассивируется и поддерживается в пассивном состоянии путём поляризации его внешним анодным током. Ввиду малой величины тока его проникающая способность высока и защите поддаются отдельные от очага воздействия участки объёма материала матрицы-основы металла [1].

Технические возможности известных способов защиты металла от коррозии ограничены прежде всего невозможностью коррозионной защиты металлов и сплавов всего объёма металла изделия (материала металла-основы), не ограничиваясь поверхностным слоем. Для обеспечения коррозионной стойкости всего объёма металла изделия, где имеет место и межкристаллитная коррозия, необходимо комплексное воздействие на структуру металла за счёт термомеханохимических реакций, происходящих в результате сложного комплекса физико-химических явлений (механических, тепловых, электрических, адсорбционных, диффузионных и др.), которые сопровождают взаимодействие деформирующего инструмента с обрабатываемой гетерофазной увлажнённой механической смесью на основе железа в условиях больших контактных давлений, локализованного сдвига, температур при влиянии активных форм водорода.

Научная новизна исследования заключается в разработке концепции комплексного модифицирования всего объёма металла, включающего в себя имплантацию ионов водорода в металл, имеющий остаточную пористость; создание защитной водородной плёнки водорода на металлической поверхности образующей пор; удаление кислорода из межзёрненного пространства в местах локализации пор; пассивацию материала матрицы-основы и образования оксидной защитной плёнки на участках несплошности (поры) структуры в процессе интенсивного уплотнения увлажнённых гетерофазных механических смесей, позволит создать уникальный способ повышения коррозионной

стойкости металла матрицы - основы. Результаты проведённых нами ранее исследований нашли отражение в патентоохраненных документах[2].

### Литература

1. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. Коррозия металлов в промышленности. – Л.:Химия.1967.712с.; Плудек В. Защита от коррозии на стадии проектирования.- М.:Мир.1980.
2. Решение выдачи патента на изобретение РФ «Способ получения защитной оксидной плёнки на металлической поверхности» по заявке № 2016140308/02(064286) от 11.10.2016 г. Кокорина В. Н., Кокорина А. В. и др.

### УДК 53.084.823

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСАТОРА НА ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ШТАМПА ПРИ ШТАМПОВКЕ ШЕСТЕРНИ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ С ЗУБОМ

Иван Павлович Волков

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Евсюков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,*

Шестерня является ответственной частью деталей машин. В конструкции коробки передач она имеет особую важность и выполняет основную функцию. При этом ее изготовление занимает много времени и включает в себя большое количество технологических операций на различном оборудовании. Поэтому было принято решение штамповать шестерни сразу с зубом, что сильно упростило изготовление детали данного типа.

Однако при разработке технологического процесса возник ряд проблем. Одной из таких проблем является влияние параметров компенсатора на заполняемость штампа.

В работе выполнено исследование штамповки шестерни коробки передач с зубом (рис. 1) массой  $M_d = 6,671$  кг и конечным диаметром  $D_d = 198$  мм. Проведено моделирование в программном комплексе QForm 3D двух технологических переходов предварительной и окончательной штамповки поковки шестерни на КГШП силой 25МН. Моделирование окончательного перехода выполнено с различными параметрами компенсатора.

Исследуемые параметры компенсатора:

- Геометрия
- Размер
- Расположение

В качестве исходных данных для моделирования использованы следующие параметры штамповки:

- Материал заготовки: Сталь 40Х
- Температура нагрева заготовки: 1200 °С
- Оборудование: КГШП 25МН
- Температура подогрева инструмента: 250 °С

- Материал штампа: 5ХНМ
- Параметры смазки: Графит + вода

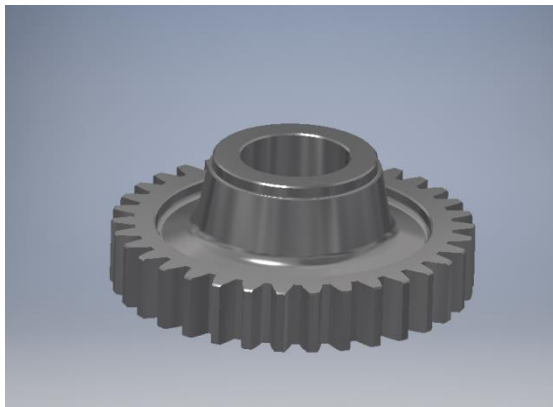


Рис. 1. Трехмерная модель шестерни коробки передач

### Литература

1. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски. – М.: Издательство стандартов – с. 2-37
2. Ковка и штамповка / *Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов* и др. – М.: «Машиностроение», 1985 - Т.1. – 194 с., с. 253-265, 296-297, 176-203
3. Ковка и объемная штамповка стали / *М.В. Сторожев* - 1968 -Т.2.-с. 34-50

**УДК 621.7.043:620.173.2**

### **КОНТАКТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ОСАДКЕ ВЫСОКИХ ЗАГОТОВОК**

Ангелина Федоровна Денисова

*Студент 3 курса, бакалавр  
кафедры «Технологии обработки давлением»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

Приведены результаты экспериментальных исследований кандидата технических наук (Dr.-Ing.) Gerhard Nebe по определению контактных давлений при осадке высоких заготовок методом точечных мессдоз. Показано, что экспериментальные эпюры контактных давлений имеют качественные отличия по сравнению с известными аналитическими решениями – существуют максимумы контактных давлений на краю образца. Выполнено моделирование процесса осадки высоких заготовок из технически чистого алюминия в программе QForm. Проведено сравнение 3D и 2D моделей, вязко-пластической и упруго-пластической модели материала, различных условий трения. Показано, что результаты конечно-элементного моделирования имеют хорошее качественное совпадение с результатами экспериментальных исследований. Выполнена попытка физического объяснения существования максимумов давлений на краю заготовки.

### Литература

1. *Nebe G.* Über die Spannungs- und Formänderungsverteilung beim Stauchen. – VDI Verlag GmbH, 1965. – 112 с.
2. *Унксов Е.П.* Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. – МАШГИЗ, 1955. – 279 с.

### УДК 53.084.823

#### Исследование технологического процесса ГОШ детали «Рычаг»

Данила Валериевич Евдокимов

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки материалов давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Алимов,*

*кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов давлением»*

В настоящее время проектирование технологии для объемной штамповки тесно связано с применением специализированных комплексов. Они позволяют определить направление течение металла в штампе, предсказать возможные дефекты поковки, оценить температурные параметры и другое. В данной работе рассматривается технология штамповки детали «Рычаг» из титанового сплава ВТ9. На основе существующей технологии, которая обладает следующими недостатками: двойной нагрев, двойная обрезка облоя, использование двух штампов, низкий коэффициент использования материала, разрабатывается улучшенная технология. Основные особенности штамповки титановых сплавов заключаются в локализации деформаций и узком интервале штамповочных температур.

Основной целью выполняемой работы является усовершенствование исходной технологии и типизации параметров технологии для использования в аналогичных деталях.

Для выполнения цели решаются следующие задачи:

1. Анализ исходной технологии, определение её недостатков;
2. Предложение использования новых технологий;
3. Определение энерго-температурных показателей штамповки;
4. Влияние поворота поверхности разъема на показатели штамповки;
5. Анализ влияния выбранных технологий на локализацию пластических деформаций.

При выполнении работ используется программное обеспечение QForm. Данная работа приводит улучшенный технологический процесс, а также определяются параметры штамповки, которые могут быть использованы для аналогичных деталей, что приведет к улучшению вновь внедряемого технологического процесса.

### Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4 томах /Ред. Совет *Е. И. Семенов-М.*: Машиностроение, Том 2. Горячая штамповка
2. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. *Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшин И.С.*

**УДК 621.7.043:620.173.2**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОСАДКЕ ПРИ ЗАТЕКАНИИ МЕТАЛЛА В УЗКУЮ ЩЕЛЬ**

Денис Зальцман

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии обработки давлением»*

Вопрос определения контактных давлений при осадке является очень важным теоретическим вопросом в рамках общей теории обработки давлением. При осадке цилиндрической заготовки на ее контактной поверхности возникает напряжение имеющее сложное распределение в зависимости от радиуса заготовки. Для определения величины контактных напряжений было выработано много экспериментальных методик, которые в своей основе делятся на методики определения сил, действующих на разных точках радиуса, и на способы определения величины деформации контактных слоев заготовки. Нами был исследован способ нахождения контактных напряжений путем измерения величины затекания металла в узкую щель разной ширины. В качестве экспериментальных данных были использованы работы Г.Нэбе и Е.П.Унксова. Мы подтвердили величину и характер затекания металла методом «конечного элемента». Далее нами были сопоставлены величины количества затекания металла и значение контактного давления, а также сделана попытка прогнозирования контактных напряжений. Также был проведен анализ полученных данных для разных значений деформации. Было оценено влияние каких факторов меняет эпюру распределения контактных напряжений. В последствии полученные исследовательские данные будут использованы для их проверки путем эксперимента с использованием пленки fujifilm.

### **Литература**

1. *Nebe G. Über die Spannungs- Formänderungsverteilung beim Stauchen – H. Achen, 1965. – 68 с.*
2. *Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности. // МАШГИЗ. – 1959,– С. 149-197.*

**УДК 621.7.043**

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Максим Сергеевич Зародов

*Аспирант 2-го года,  
кафедра «Технологии обработки давлением»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.*

*Научный руководитель: В.А. Демин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

Плоские теплообменные панели в составе теплообменных установок используются во многих отраслях промышленности, таких как криогенная, химическая, пищевая, фармацевтическая и т. д. и имеют ряд преимуществ по сравнению с другими теплообменниками, например, змеевикового типа: обладают хорошей ремонтпригодностью благодаря модульности конструкции, высокой надежностью, они могут быть разных форм и толщин при различных эксплуатационных условиях, иметь различные толщины стенок. Наиболее широко в качестве материала используют нержавеющую сталь, медные, алюминиевые, титановые сплавы.

Такие теплообменные панели можно получать различными способами, используя технологии листовой штамповки:

1) Методом формовки на прессах с последующей сваркой. Каналы для теплоносителя отштампованы на одном (односторонняя панель) или двух листах (двухсторонняя панель) [1]. Штампы представляют собой жесткие матрицу и пуансон, либо жесткий пуансон и эластичная матрица.

2) Профилирование листового металла на многовалковых машинах с последующей сваркой. Поперечное сечение листа меняется постепенно, проходя через пары валков. Метод отличается высокой производительностью [2].

3) Методом сварки прокаткой и гидро/пневмоформовки. На одном из металлических листов создается рисунок из разделительного слоя, который препятствует прихватыванию контактных поверхностей. Лист складывают с другим листом, подвергают нагреву и прокатывают для получения соединения между атомами. В полученную не сваренную полость под давлением подают воздух либо жидкость, получая каналы для теплоносителя [1].

4) Методом гидроформовки. Контактной сваркой соединяются пара листов в определенных местах, создается нужный рисунок. Затем через специальные отверстия подают жидкость под высоким давлением, создавая проточные каналы [1].

Два последних метода представляют особый интерес, т.к. обладают рядом преимуществ:

- не требуется дорогостоящая штамповая оснастка, профилирующее и прессовое оборудование;
- процесс сварки упрощается, т.к. происходит сварка плоских листов;
- высокая степень автоматизации производства;
- возможна быстрая переналадка на другую конфигурацию панели;
- процесс гидро/пневмоформовки, как способ создания детали, в то же время представляет собой испытание детали на герметичность, что оказывает положительное влияние на качество продукции.

Анализируя особенности рассмотренных методов, методы получения теплообменных панелей с использованием гидро/пневмоформовки являются наиболее перспективными по сравнению с другими методами изготовления плоских теплообменников.

## Литература

1. *Shah, R. K.* Fundamentals of heat exchanger design / Ramesh K. Shah, Dus`an P. Sekulic – John Wiley & Sons, Inc. 2003 – 941p.
2. Стан для обработки металлического листа давлением: пат. 2268805 РФ. Оpubл. 27.12.2009. Бюл. № 33.

**УДК 53.084.823**

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АНИЗОТРОПИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПРИПУСКА НА ОБРЕЗКУ ПОСЛЕ ВЫТЯЖКИ.**

Алексей Сергеевич Золотарев<sup>(1)</sup>, Александра Александровна Рыжкова<sup>(2)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирант<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Демин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

В машиностроительном производстве существует большое количество деталей, которые получают путем вытяжки из круглых заготовок. При расчете диаметра заготовки для вытяжки осесимметричной детали необходимо учитывать припуск на обрезку волнистой кромки фланца, которая образуется вследствие плоскостной анизотропии механических свойств материала заготовки. Дефект, обусловленный появлением неровного края, называют фестонами. Расположение фестонов зависит от материала заготовки и термической обработки листа. Они располагаются на участках кромки фланца симметрично относительно направления прокатки.

На данный момент при расчете диаметра заготовки используют табличные значения допуска на обрезку из справочников. Например, в справочнике [2] расчеты выполнены для стали 08Г, которая в настоящее время не производится. Для повышения точности расчетов и, как следствие, уменьшения расхода металла нужно более детально изучить влияние коэффициента анизотропии на размер заготовки.

Исследование проводится с помощью программного комплекса AutoForm R6 plus, была создана модель процесса вытяжки осесимметричной детали типа «стакан» с широким фланцем. При этом варьируется материал заготовки и коэффициент анизотропии с целью определения оптимальной величины припуска на обрезку.

Результаты исследования, полученные путем моделирования, позволяют сделать вывод о том, что анизотропия материала может оказывать значительное влияние на величину припуска на обрезку при выборе диаметра заготовки. Припуск на обрезку в справочнике [2] и в моделировании получается разный, что говорит о необходимости проверки данных. В некоторых случаях, при незначительном значении анизотропии размеры готовой детали будут находиться в требуемом допуске, что позволяет избежать последующей обрезки фланца. Однако полученные результаты требуют дальнейшей экспериментальной верификации.

**Литература**

1. *Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю.* Технология холодной штамповки. -М.: Машиностроение, 1989. -304с.
2. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – 6 изд. перераб. и доп. – Л. Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1979. – 520 с.



**УДК 682.3**

## **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КУЗНЕЧНОГО ДЕЛА**

Павел Евгеньевич Киреев

*Студент 1 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Гладков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»*

Начало I тысячелетия до н.э. знаменуется «металлургической революцией», связанной с открытием людьми железа. Хотя первые изделия из «небесного металла» - метеоритного железа, найденные на территории современных Ирана и Сирии, датируют III веком до н.э. [1]. Массовый переход к новому металлу был связан с освоением добычи железа из земных недр.

С древнейших времен кузнечное искусство считалось одним из важнейших ремесел, ведь кузнецы создавали не только предметы первой необходимости - оружие и инструменты - но и великолепные произведения искусства, украшавшие интерьеры домов, дворцов и храмов. На протяжении тысячелетий кузнечное дело развивалось и совершенствовалось, а создаваемые кузнецами изделия становились все сложнее и качественнее. На Руси железо было известно еще древним славянам. Древнерусские кузнецы X-XIII вв. владели всеми основными техническими приемами обработки железа и на целые столетия определили технический уровень деревенских кузниц. В 1842 году Джеме Несмит построил первый паровой молот, а в 1846 году Уильям Джордж Армстронг - первый паровой гидропресс. В том же XIX веке начали применять приводные механические и пневматические молоты, получили развитие кривошипные прессы и другие кривошипные кузнечно-штамповочные машины. В XX веке на смену декоративному кованому металлу пришли сварные конструкции, что связано с развитием прокатного и штамповочного производств.

Обработка металлов давлением (далее - ОМД) возможна благодаря тому, что такие материалы отличаются высокой пластичностью. В результате пластической деформации из металлической заготовки можно получить готовое изделие, форма и размеры которого соответствуют требуемым параметрам. В процессековки можно создать элементы, которые прочнее, чем те, которые производятся с помощью любого другого процесса металлообработки. Обработка металла давлением активно используется для выпуска продукции, применяемой в машиностроительной, авиационной, автомобилестроительной и других отраслях промышленности. В зависимости от условий, при которых происходит ОМД, она может быть холодной или горячей (ниже или выше температуры рекристаллизации металла соответственно). Обработываемый давлением металл в зависимости от используемой технологии подвергается: прокатке; ковке; прессованию; волочению; объемному штампованию; листовому штампованию; обработке, выполняемой комбинированными способами. Обработывать металл ковкой можно по нескольким методикам, к которым относятся: ковка, выполняемая вручную; ковка, выполняемая на пневматическом, гидравлическом и паровоздушном оборудовании; штамповка.

Штамповка (штампование) — процесс пластической деформации материала с изменением формы и размеров тела. Существуют два основных вида штамповки — листовая и объёмная. Сущность объёмной штамповки состоит в том, что получение

изделия требуемой конфигурации осуществляется при помощи штампа. Внутренняя полость, которая сформирована конструктивными элементами штампа, ограничивает течение металла в ненужном направлении. В зависимости от конструктивного исполнения штампы могут быть открытыми и закрытыми. При помощи листовой штамповки готовые изделия получают из листового металла. В зависимости от того, какого результата необходимо добиться в процессе выполнения такой технологической операции, различают штамповку: разделительную (отрезка, вырубка и пробивка) и формообразующую (гибка, вытяжка, раздача, отбортовка, чеканка и др.). Для выполнения листовой штамповки используют гидравлические или кривошипно-шатунные прессы, рабочими органами которых являются штампы, состоящие из матрицы и пунсона. Качество готового изделия, которое обеспечивает листовая штамповка, позволяет не подвергать его последующей механической обработке. Листовая штамповка – это одна из наиболее распространенных методик ОМД, которая активно применяется почти во всех отраслях промышленности. По такой технологии, в частности, производят как мельчайшие детали радиоэлектронных устройств, так и массивные кузова автотранспортных средств [2].

К наиболее перспективным технологиям, развитие которых определит ближайшее будущее металлообработки можно отнести сверхпластичную формовку (под сверхпластичностью понимают способность металла к значительной пластической деформации в определенных условиях при одновременно малом сопротивлении деформированию); жидкую штамповку (литьё с кристаллизацией под давлением); технологии, основанные на использовании интенсивной пластической деформации (кручение под высоким давлением, равноканальное угловое прессование, всесторонняя ковка, другие). Т.е. в начале XXI века в развитии «кузнечного дела» мы можем наблюдать тенденцию к совмещению нескольких технологических процессов формообразования в одном процессе, т.е. применение комбинированных технологий как наиболее эффективных [3].

### **Литература**

1. *Логонов В.П., Боброва В.В.* Секреты кузнечного дела. М.: изд-во Аделант, 2008. - 152 с.
2. Всё об обработке металла. URL: <http://met-all.org/>.
3. *Пупань Л.И., Кононенко В.И.* Перспективные технологии получения и обработки материалов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 261 с.

### **621.7.043**

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКЕ**

Дмитрий Витальевич Кривенко

*Студент 6 курса ,  
кафедра «Технологии обработки давлением»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

В настоящее время существует множество процессов обработки давлением для производства вытянутых вдоль одной оси деталей. Одним из таких является поперечно-

клиноватая прокатка. Данный вид обработки давлением обладает такими преимуществами как: повышенный коэффициент использования материала (КИМ), высокая стойкость инструмента, отсутствие ударных нагрузок и как следствие отсутствие вибраций, передаваемых на фундамент, полная автоматизация процесса, высокая производительность линий поперечно-клиноватой прокатки, а также высокие технологические свойства получаемых поковок вследствие правильного волокнистого строения.

Одним из главных преимуществ процессов обработки давлением является высокий уровень КИМ. Современные мировые тенденции направлены на оптимизацию ресурсопотребления. Процессы ПКП обеспечивают КИМ = 0,8 – 0,98, поэтому могут считаться одними из перспективнейших направлений развития.

Однако проектирование технологического процесса ПКП – трудоемкая задача. Необходимо учесть множество факторов и правильно подобрать огромное количество параметров инструмента для правильного протекания процесса. В результате несоблюдения требований в поковке могут возникать ряд дефектов, один из которых – вскрытие осевой полости поковки или «эффекта Маннесмана». Данный вид дефекта является неисправимым. Кроме того, его невозможно определить визуально. Полость, появляющаяся в поковке, становится концентратором напряжений, поэтому снижается долговечность изделия.

Данному дефекту посвящено множество исследований, связанных с влиянием различных параметров на появление полости в заготовке, а также с поиском моделей описывающих развитие зарождение и развитие трещины. Однако в условиях современного производства, требуется найти все возможные дефекты еще на этапе проектирования и отличным инструментом для этого может являться математическое моделирование. В связи с этим, требуется модель, которая преобразуя выходные данные моделирования, могла бы предсказать появление трещины в заготовке.

В работе представлен анализ напряженного и деформированного состояния при поперечно-клиноватой прокатке, произведено сравнение данных о разрушении материала при поперечно-клиноватой прокатке из работы [1] и математического моделирования проведенного эксперимента, представлена методика определения различных поверхностных дефектов с помощью моделирования, а так же представлена пользовательская подпрограмма на языке Lua для использования в QForm.

## Литература

1. Целиков А. И, Казанская И. И, Сафонов А.С, Матвеев В. А, Садковский Б. Ф, Щукин В. Я.; Поперечно-клиноватая прокатка в машиностроении. Под ред. Целикова А. И – М.: Машиностроение, 1982 – 192 с.
2. Власов А.В. О применении критерия кокрофта-лэтэма для прогнозирования разрушения при холодной объемной штамповке. // Известия ТулГУ. Технические науки – 2017 вып.2, ч.1 – С 46-59.
3. Астапчик С. А., Кожевникова Г. В. Исследование пластичности металла заготовок поперечно-клиноватой прокатки. // ВЕСЦІ НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ. СЕРЫЯ ФІЗІКА-ТЭХНІЧНЫХ НАВУК – М: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука". – 2014 №3. – С. 31-36.
4. Кожевникова Г. В. Теория и практика поперечно-клиноватой прокатки. Теория и практика поперечно-клиноватой прокатки / Г. В. Кожевникова. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 291 с. – ISBN 978-985-08-1231-5.
5. Cockcroft, M. G. Ductility and the workability of metals / M. G. Cockcroft, D. J. Latham // J Inst Metals. – 1968. – Т. 96. – №. 1. – С. 33-39

6. *Щукин В. Я.*, Основы поперечно-клиновой прокатки / Под ред. Степаненко А. В. – Мн: Наука и техника, 1986 – 223с.
7. *Клушин В. А.*, Рудович А. О., Технологии и оборудование поперечно-клиновой прокатки: монография – Минск: ФТИ НАН Белоруссии, 2010. – 300с.

## УДК 669-1

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛОПАСТИ ДЛЯ АВИАПРОМЫШЛЕННОСТИ ШТАМПОВКОЙ

Надежда Андреевна Куприянова

*Магистр 1 курса,  
кафедра «Металлургия»  
Московский Политехнический Университет*

*Научный руководитель: С.С. Хламкова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия»  
Научный руководитель: Е.В. Морозова,  
старший преподаватель кафедры «Металлургия»*

В данной работе рассматривается технология изготовления детали «Лопасть» для авиационной промышленности из деформируемого упрочняемого жаропрочного сплава АК4-1 методом штамповки на кривошипном горячештамповочном прессе. Прежде деталь штамповалась на молоте.

Ак4-1 относится к жаропрочным алюминиевым сплавам.

Таблица 1 – Химический состав сплава АК4-1, %

Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Ni
1,9–2,5	1,4–1,8	0,15–0,35	0,5–1,2	1,1–1,6	1,0–1,5

Плотность сплава:  $\rho=2800 \text{ кг/м}^3$ .

Твердость по Бринеллю: 109 – 117 МПа при отпечатке диаметром 10 мм.

Штамповку алюминиевых сплавов производят на молотах и прессах.

Штамповку сплавов цветных металлов в основном производят на гидравлических, фрикционных и механических прессах, так как при меньшей, чем на молотах, скорости деформирования равномернее течет металл и, следовательно, меньше образуется дефектов на поверхности штамповок. Схемы деформирования следует выбирать такие, из которых получение требуемой формы происходит за счет выдавливания, а не за счет осадки.

На рисунке 1 показано фото, а на рисунке 2 изображена модель детали «Лопасть» с физическими параметрами, выполненная в программе Компас 3D.



Рисунок 1 – Фото детали «Лопасть»

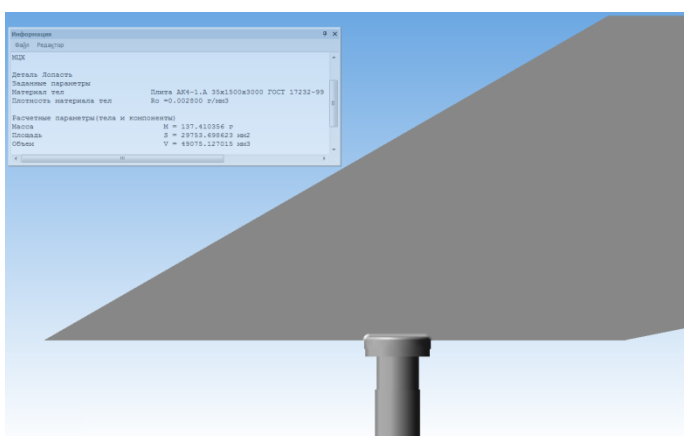


Рисунок 2 – Модель детали «Лопасть» с физическими параметрами

Таблица 2 – Исходные данные для расчета поковки

Сплав	АК4-1
Класс чистоты обработки	6
Наибольший габаритный размер штамповки, мм	214

Температурный интервал для сплава АК-1 при штамповке на КГПП:

Начальная температура деформации: 430°C;

Конечная температура деформации: 320°C;

Коэффициент линейного расширения при температурековки 320°C:  $\alpha=23,1 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$

В качестве заготовки используется плита с размерами с нормальной плакировкой. Перед штамповкой плита режется на заготовки ленточной пилой. При обрезке облоя ленточной пилой допускается остаток облоя 3 мм при длине штампованных заготовок до 1000 мм.

При использовании в качестве оборудования кривошипного горячештамповочного пресса, штамповка получается ближе к детали по форме, повышается производительность производства.

### Литература

1. Болховитин М. С., Королев Н. Н., Монахова В. П. Повышение эффективности управления технологическим процессом точной штамповки при изготовлении лопаток компрессора газотурбинных двигателей// Журнал «Труды МАИ», 2013, № 81.

2. *Крымов В.В.* Производство лопаток газотурбинных двигателей. - М.: Машиностроение, 2002. - 376с.

**УДК 621.07**

## **ФОРМООБРАЗОВАНИЕ РЕБРИСТЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ПРЕССЕ СПП-250**

Рамиль Ильясович Латыпов, Евгений Дмитриевич Кубинец

*Студенты 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедения и обработка металлов давлением»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Г. Попов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедения и обработка металлов давлением»*

Уровень развития авиационной техники характеризуется широким применением в конструкциях летательных аппаратов крупногабаритных монолитных панелей, которые обладают рядом преимуществ по сравнению со сборными панелями. Изготовление таких деталей требует специальных технологических решений. Так как любая операция, связанная с упругопластическим деформированием металла, неизбежно приводит к возникновению в деталях остаточных напряжений, то необходимо разрабатывать одновременно и технологические способы компенсации и устранения остаточных деформаций, которые искажают конфигурацию готовой панели и вызывают отклонения от теоретического контура элементов конструкции изделия (самолета).

Рибристые панели из высокопрочных алюминиевых сплавов входят в состав фюзеляжей и крыла современных транспортных самолетов. Крыло в авиационной технике — несущая поверхность, имеющая в сечении по направлению потока профилированную форму и предназначенная для создания аэродинамической подъемной силы. Эти панели имеют различную форму в плане, а по размеру — различную форму сечений в плоскостях, параллельных плоскости симметрии самолёта, а также различные углы крутки сечений в указанных плоскостях.

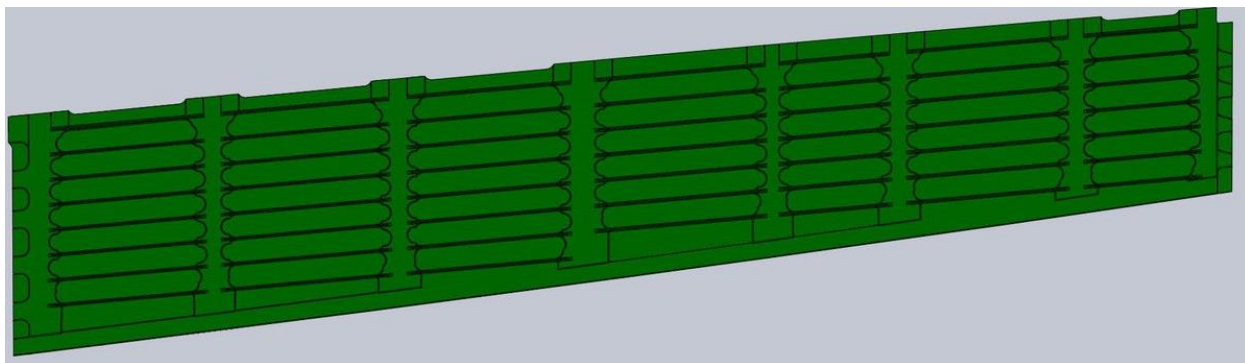


Рисунок 1 – Рибристая панель

Пресс СПП-250, предназначен для формообразования и правки плит, разнотолщинных, вафельных и рибристых панелей одинарной и двойной кривизны. Пресс обеспечивает высокопроизводительное формообразование деталей габаритами до 24000 x

2500 мм в условиях мелкосерийного и серийного производства, требующих быстрой и простой переналадки прессы при смене обрабатываемых деталей. В состав прессы входят: поперечная станина рамного типа с перемещающимся по верхней балке ползуном и подвижным в вертикальном направлении силовым блоком с гибочным инструментом, а также стол, воспринимающий усилия силового блока ползуна, перемещающийся по нижней балке станины синхронно с ползуном.

Отличительные особенности: – Два механизма подачи заготовки для перемещения панели, а также поддерживающие устройства с роликами по которым панель перемещается и которые поддерживают деталь при ее формообразовании. – Автоматизированные механизмы разведения и сведения верхних и нижних пуансонов, их поворота вокруг вертикальной оси и перемещения по направляющим станины прессы, изменения угла между нижними пуансонами в плане, а также угла наклона верхних пуансонов в вертикальной плоскости. – Адаптивная система автоматического учета пружинения при формообразовании, обеспечивающая отработку заданного прогиба вне зависимости от механических свойств материала. – Станина портального типа, высокой жесткости, обеспечивающая высокую точность получаемой детали.

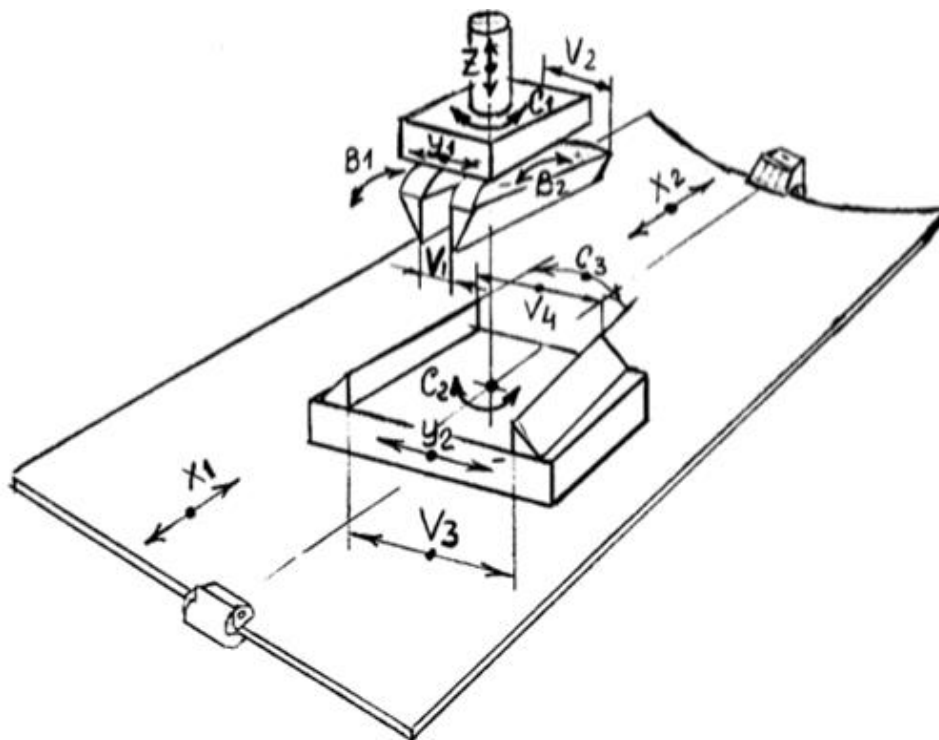


Рисунок 2 - Схема рабочих и установочных перемещений прессы СПП-250

Рабочее перемещение:

Z – вертикальное перемещение ползуна

Установочные перемещения:

X1, X2 – продольное перемещение заготовки

Y1 – поперечное перемещение ползуна

Y2 – поперечное перемещение стола

V1, V2 – синхронное перемещение пуансонов ползуна  $V1=V2$

V3, V4 – совместное перемещение пуансонов стола

C1 – поворот плиты ползуна

C2 – поворот плиты стола

C3 = f(V3, V4) – совместный поворот пуансонов стола в горизонтальной плоскости  $V3 \geq V4$

B1 – поворот левого пуансона ползуна в вертикальной плоскости

B2 – поворот правого пуансона ползуна в вертикальной плоскости

Принцип работы прессы для правки и гибки деталей на прессе использована общая схема свободной гибки между двумя опорами, где изгиб участка детали (заготовки) происходит под действием активной силы  $P$  и двух реактивных сил, возникающих в опорах (рис.3). Гибка на прессе осуществляется между гибочными пуансонами, расположенными на столе и ползуне прессы.

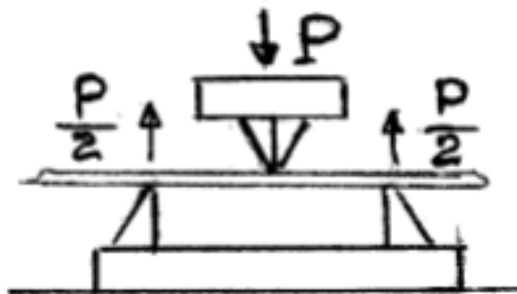


Рисунок 3 – Схема свободной гибки между двумя опорами



Рисунок 4 – пресс СПП-250

Для расчета усилия и пружинения при гибки плиты мы берем сплав Д16Т. Параметры изгиба плиты: толщина  $S=8$  мм; ширина  $B=1500$  мм; начальный угол изгиба



$\varphi_0=30^\circ$ . Параметры технической оснастки: ширина между опорами  $l=200$  мм; радиус изгиба  $R_0=1000$  мм; величина прогиба  $h=6$  мм. Механические свойства материала: модуль упругости  $E=73000$  МПа; модуль упрочнения  $\Pi=1$ ; сила трения  $\mu=0,1$ ; предел прочности  $\sigma_b=440$  МПа; предел текучести  $\sigma_s=0,7 \cdot \sigma_b=0,7 \cdot 440=308$  МПа.

Перевод в систему СИ:  $S=0,008$  м;  $B=1,5$  м;  $\sigma_s=308 \cdot 10^{-5}$  Па;  $l=0,2$  м;  $E=73000 \cdot 10^{-5}$  Па;  $R_0=1$  м,  $h=0,006$  м.

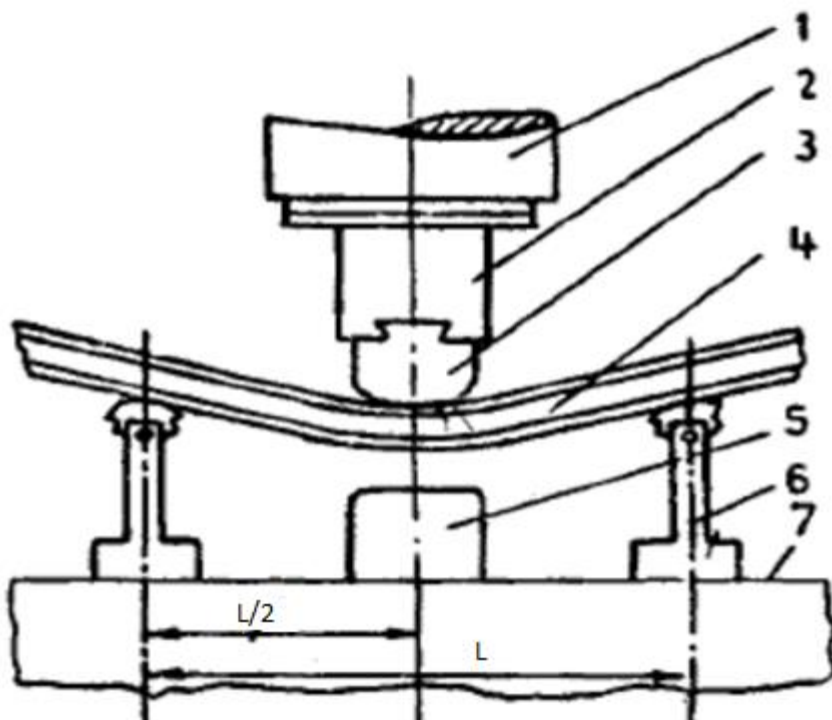


Рисунок 5 – Схема свободной гибки

На рисунке 5 представлена схема пресса СПП-250, где 1 – плунжер пресса; 2 – поворотный адаптер; 3 – пуансон; 4 – деталь; 5 – ограничитель хода; 6 – опора; 7 – нижняя плита пресса.

Усилие гибки для начального момента гибки ( $\varphi=0$ ) без учета сил трения ( $\mu=0$ ) и упрочнения ( $\Pi=0$ ):

$$P = \sigma_s \cdot \frac{B \cdot S^2}{l} \quad (1)$$

$$P = 308 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,5 \cdot 0,008^2}{0,2} = 147840 \text{ Н}$$

Усилие гибки:

$$P = \frac{\sigma_s \cdot \frac{B \cdot S^2}{4} + \frac{\Pi}{R_o} \cdot \frac{B \cdot S^2}{12}}{\frac{l}{4} + \frac{h}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)}} \quad (2)$$

$$P = \frac{308 \cdot 10^6 \frac{1,5 \cdot 0,008^2}{4} + \frac{1}{1} \cdot \frac{1,5 \cdot 0,008^2}{12}}{\frac{0,2}{4} + \frac{0,006}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}(15) - 0,1}{1 + 0,1 \cdot \operatorname{tg}(15)}} = 882669,02 \text{ Н}$$

Внешний изгибающий момент:

$$M_B = \frac{P \cdot l}{4} \quad (3)$$

$$M_B = \frac{882669,02 \cdot 0,2}{4} = 44133,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент инерции сечения заготовки:

$$J = \frac{B \cdot S^3}{12} \quad (4)$$

$$J = \frac{1,5 \cdot 0,008^3}{12} = 0,0000000641 \text{ м}^4$$

Угол пружинения:

$$\Delta\varphi = \varphi_o \cdot \frac{M_B \cdot R_o}{E \cdot J} \quad (5)$$

$$\Delta\varphi = 30 \frac{44133,45 \cdot 1}{73000 \cdot 10^6 \cdot 0,00001563} = 1,15^\circ$$

### Литература

1. Машиностроительные стали [Текст]: справочник / под ред. В.Н. Журавлева. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
2. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов. Учебник для ВУЗов. 1981. – 224 с.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

### УДК 669-1

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШТАМПОВКИ ДНИЩА БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Малик Анатолий

*Магистр 1 курса,  
кафедра «Металлургия»  
Московский Политехнический Университет*

*Научный руководитель: С.С. Хламкова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия»  
Научный руководитель: Г.Х. Шарипзянова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия»*

При проектировании технологии изготовления поковок большое внимание необходимо уделять выбору оборудования. В современном производстве существует большое количество штамповочных прессов и молотов, при грамотном выборе которых можно сократить расход материала без ущерба качеству.

Выбор способа штамповки определяется сложностью формы, размерами и массой изготовленных поковок, маркой материала и требованиями к его физико-механическим свойствам, а также условиями производства.

Для штамповки днища баллона высокого давления в данном случае используется молот с массой падающих частей 1 т. Изначально пуансон был разработан согласно рис. 1. Впоследствии при использовании данного штампа были выявлены слишком большие затраты металла на ковку клинового держателя. Чтобы избежать лишних расходов металла, повысить безопасность и практичность работы пуансона, был разработан крепеж в виде штифта (рис. 2).

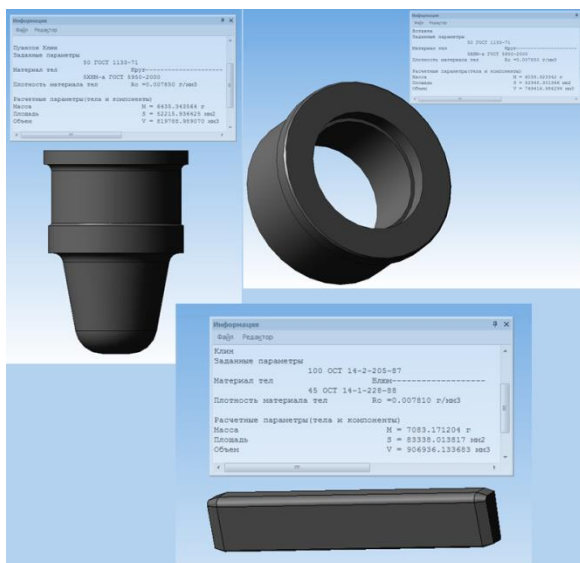


Рисунок 1 3D модели пуансона, вставки и держателя типа «клин» до модернизации с параметрами.

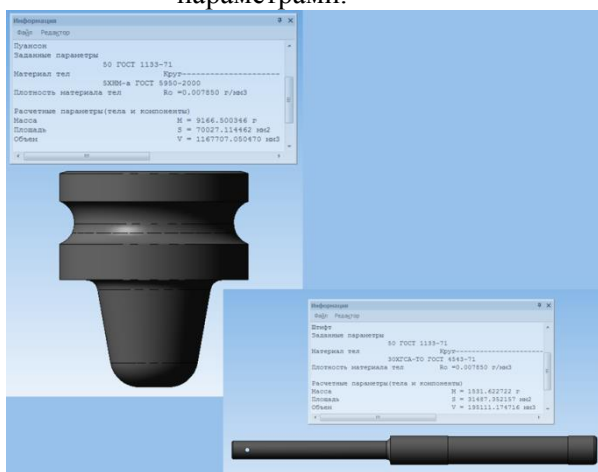


Рисунок 2 3D модели пуансона и держателя типа «штифт» после модернизации с параметрами.

Расчет затрат металла на ковку пуансонов и вставки (для первого варианта) указан в табл. 1.

Таблица 1 – Данные расчетов

Деталь	До модернизации		После модернизации	
	масса детали, кг	масса поковки, кг	масса детали, кг	масса поковки, кг
Пуансон	6,4	8,32	9,2	11,96
Вставка	6,0	10,8	–	–
Итого:	12,4	19,12	9,2	11,96

Таким образом, экономия стали при изготовлении деталей пуансона (совместно со вставкой до модернизации и без вставки после)  $\Delta_d = \frac{12,4-9,2}{12,4} \cdot 100\% = 25,8\%$  и поковки

$$\Delta_{п} = \frac{19,2-11,96}{19,12} \cdot 100\% = 37,5\%.$$

При этом при ковке держателей (один клин до модернизации и два штифта после модернизации):  $\Delta_{дер} = \frac{10,16-2,28}{10,16} \cdot 100\% = 44,9\%$ .

В данной работе были проанализированы преимущества использования в качестве держателя пуансона штифта взамен клинового. При использовании клинового держателя в сбор пуансона также входила вставка, которая не используется в сборке со штифтом.

Результаты расчетов показывают, что экономия металла после модернизации на

штамповку пуансона составила 37,5%, а на ковку держателя 44,9%, что при достаточно быстром износе пуансона при штамповке днища, более выгодно при массовом производстве.

К тому же, практический опыт использования модернизированного пуансона показал, что его замена в 5 раз быстрее и требует усилий одного человека в противовес пуансону с клиновым держателем, замена которого требует участия в этом процессе двух человек.

### **Литература**

1. *Глушечков, В.А.* Основные элементы инструментальных штампов, их назначение, конструкция [Электронный ресурс]: электрон. учебное пособие/В.А. Глушечков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) -Электрон. текстовые и граф. дан. ( 0,77Мбайт). -Самара, 2013.
2. *Сторожев М. В., Попов Е. А.* Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423с., с ил.

### **УДК 621.7**

## **ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ РАСКАТКИ КОЛЕЦ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ПО QFORM**

Антон Александрович Марьин

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Гладков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением».*

Раскатка колец это - типовой технологический процесс шарикоподшипниковый промышленности, поскольку он обладает высокой производительностью и точностью. Помимо корпусов подшипников раскаткой получают компоненты авиационных двигателей, фланцы, передаточные шестерни, части ядерных реакторов, оболочки сосудов высокого давления, канатные шкивы, втулки подшипников.

Подшипники по своей конструкции являются высокотехнологичными изделиями, имеющие в рабочих условиях сложнейшую динамику взаимодействия составляющих компонентов для восприятия высоких и разнообразных нагрузок, обеспечения точности вращения вала при большом диапазоне частот вращения и температур.

Одними из важнейших деталей в составе промышленного подшипника являются внешние и внутренние кольца (Рис. 1), также называемые обоймами подшипника, вращающиеся между собой. Внешняя поверхность наружного кольца и внутренняя поверхность внутреннего кольца обычно имеют цилиндрическую форму для упрощения установки, в гнездо корпуса и на вал соответственно.

Обоймы подшипников качения изготавливают из высокоуглеродистых хромистых сталей, подвергают термообработке и механической обработке для достижения прочности детали и твердости поверхностей дорожек качения. Наиболее распространенной из них является сталь ШХ15. Из этой стали изготавливают шарики всех размеров, кольца толщиной менее 10 мм и ролики диаметром до 22 мм. Для колец подшипников толщиной

менее 30 мм и роликов диаметром более 22 мм применяют сталь ШХ15СГ. По сравнению со сталью ШХ15 она содержит несколько больше кремния и марганца. Для колец толщиной более 30 мм применяют сталь ШХ20СГ, которая содержит еще большее количество этих элементов, а для колец железнодорожных подшипников, подвергающихся индукционной закалке, - сталь ШХ4.



Рис. 1. 3D-модель детали «Внутреннее кольцо подшипника»

#### **Описание базовой технологии изготовления детали «Внешнее кольцо подшипника»**

Базовый технологический процесс изготовления детали «Внешнее кольцо подшипника» включает в себя следующие операции:

1. Транспортирование прутков длиной 6000 мм на участок кольцеракатного комплекса.
2. Индукционный нагрев исходного прутка  $\varnothing 130-180$  мм до температуры рубки 700-800 °С.
3. Рубка прутка на гидравлических пресс-ножницах усилием 2.5 МН (1 ед.).
4. Транспортирование на стол заготовок  $\varnothing 130-180$  мм к индукционному нагревателю перед штамповкой.
5. Индукционный нагрев заготовок (рубленых)  $\varnothing 130-240$  мм до температуры горячей штамповки 1100-1150 °С в двухручьевом КИН.
6. Очистка от окалины горячей заготовки, кантование заготовки транспортной системой.
7. Штамповка поковки под раскатку на 3-х позиционном гидравлическом прессе усилием 30 МН:
  - Осадка с кернением;
  - Окончательная формовка;
  - Прошивка отверстия.
8. Раскатка радиально-аксиальная на раскатном стане усилием 1300 кН (без подогрева) полуфабриката в заданные размеры поковки кольца.

#### **Технологический процесс раскатки колец:**

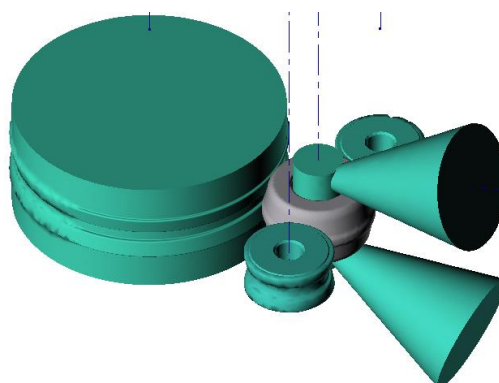


Рис. 2. Позиционирование заготовки в начале операции с помощью ПО QForm.

На данный момент в промышленности распространены две разновидности горячей раскатки колец: открытая и закрытая. Однако, наибольшее распространение и применение в жизни нашла открытая раскатка в связи с более простым ее осуществлением. В связи с этим встает вопрос о минимизации потерь качества поковок, вызванных появлением нежелательных дефектов, получаемых с помощью открытой горячей раскатки. Для решения данного вопроса была составлена классификация дефектов с подробным описанием, позволяющая выявлять и предупреждать наличие дефектов не только во время непосредственной операции раскатки, но и на стадии ее планирования.

Таблица 1. Примеры дефектов технологии раскатки колец

<b>Дефекты технологии раскатки колец</b>		
<b>Дефекты заготовки</b>	<b>Дефекты инструмента</b>	<b>Дефекты операций</b>
<p><b>Дефекты микроструктуры Ti сплавов:</b></p> <p><b>1) Включения тугоплавких Me :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вносятся шихтовыми материалами и не расплавляющиеся вследствие особенностей вакуумно дуговой плавки.</li> </ul> <p><b>2) Неметаллические включения белого цвета, значительно обогащенные кислородом и азотом, а также включения темного цвета, обогащенные водородом (гидриды).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Источниками образования кислородно-азотных включений являются горелые и окисленные частицы губки</li> </ul> <p><b>3) Зональная разнородность,</b></p>	<p><b>Разрушение инструмента вследствие превышения предела текучести:</b></p> <p><b>Малая стойкость штампа вследствие адгезионного износа:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Происходит в результате прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента.</li> <li>• Результатом этого износа являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента.</li> <li>• При слиянии кратеров образуются лунки износа.</li> <li>• Действие износа усиливается в зоне низких и средних скоростей резания.</li> <li>• Уменьшить износ можно повышением твердости инструмента.</li> </ul>	<p><b>Дефекты при нагреве:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Перегрев</li> <li>• Недогрев</li> <li>• Окалина</li> <li>• Внутренние трещины</li> </ul> <p><b>Дефекты при резке:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Косой срез</li> <li>• Торцевые трещины</li> <li>• Торцевой скол</li> <li>• Несоответствие длины</li> </ul> <p><b>Дефекты при штамповке</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Риски</li> <li>• Закаты</li> <li>• Волосовины</li> <li>• Расслоения</li> <li>• Шлаковые включения</li> </ul> <p><b>Дефекты при раскатке:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Незаполнение</li> <li>• Складки</li> <li>• Утки</li> <li>• Козырек</li> <li>• Утяжка торцев</li> <li>• Неблагоприятное волокнистое строение</li> </ul>

обусловленная зональной ликвацией легирующих элементов, неоднородностью пластической деформации и неравномерностью температуры по сечению при деформации заготовок.  
**4) Грубые выделения  $\alpha$ -фазы, возникающие при длительном нагреве металла при температурах  $\alpha+\beta$ -области и характеризующиеся очень крупными (до 20—30 мкм) зёрнами  $\alpha$ -фазы.**

**Дефекты микроструктуры Al сплавов:**

**1) Гальванизация (блестки):**

Причины:

- Может возникать при травлении алюминиевых профилей в щелочном растворе повышенной концентрации или при повышенной температуре.
- Повышенное содержание цинка в алюминиевом сплаве.

Предотвращение:

- Ограничение содержания цинка в алюминиевых сплавах.
- Поддержание содержания свободного цинка в щелочном травильном растворе ниже 6 ppm.

**2) Анодный прижог:**

Причина:

- Анодирование
- Происходит при

**Малая стойкость штампа из-за цикловой усталости:**

**1) Разрушение в области малоциклового усталости:**

- Развитие трещин происходит в условиях значительного влияния волокнистой структуры штампового материала на реализуемый механизм разрушения.
- Все случаи развития трещин сведены к трех категориям: вдоль волокон, под углом и перпендикулярно к ним.

**2) Разрушение в области малоциклового усталости:**

- Зарождение трещин происходит от границы зерен или в пределах зерна с формированием каскада гладких фасеток разрушения пластинчатой или глобулярной  $\alpha$ -фазы.
- Решающую роль в зарождении трещин играют волокна с пониженной пластичностью при произвольной ориентации структурных элементов по отношению к оси приложения нагрузки.



чрезмерной плотности тока и при неадекватном перемешивании анодного раствора.

Предотвращение (дефект не возникает):

- Правильной навеске профилей для обеспечения однородного распределения.
- Хорошее движение электролита через занавеску.

### Литература

1. *Костышев В.А.* Раскатка колец / Под общ. Ред. В. А. Костышева. Самарский гос. аэрокосмический университет. Самара, 2000.208с.: ил.
2. *Алимов А.И.* Совершенствование технологии изготовления колец из титанового сплава ВТ6 путем определения рациональных режимов деформирования / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2017.
3. *Охрименко Я.М.* Технология кузнечно-штамповочного производства. Допущено министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебников для студентов вузов. // Издательство «Машиностроение», Москва 1966.
4. T. Short, The Identification and Prevention of Defects on Anodizing Aluminium Parts, 2003.
5. *Мальцева Л.А.* М21 Материаловедение: учебное пособие / Л.А. Мальцева, М.А. Гервасьев, А.Б. Кутын-Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007.339с.

УДК 62-294.2

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОТБОРТОВКИ ОТВЕРСТИЙ БЕЗ УТОНЕНИЯ СТЕНКИ

Александр Сергеевич Мелков

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Мехатронные системы и процессы формообразования»*

*Рыбинский Государственный Авиационный Технический Университет им. П.А.*

*Соловьёва*

*Научный руководитель: М.Л. Первов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатронные системы и процессы формообразования»*

Отбортовка отверстий широко используется в штамповочном производстве, заменяя операции вытяжки, с последующей вырубкой дна. Особенно большую эффективность даёт применение отбортовки отверстий при изготовлении деталей с большим фланцем, когда вытяжка затруднительна [1].

Отбортовка отверстий с набранным металлом в очаге деформации – актуальная тема на сегодняшний день. Как известно, при отбортовке отверстий происходит утонение

стенки, которое недопустимо по техническим условиям, так как рассматриваемая нами деталь относится к деталям ответственного типа. Поэтому у технолога возникает вопрос: как произвести процесс отбортовки ответственной детали без утонения стенок. Для отбортовки отверстий без утонения стенки в очаге деформации заранее производят набор металла, который позволит сохранить толщину борта.

Получение набранного металла для отбортовки отверстий является сложным технологическим процессом, требующим применение специальной оснастки и специализированного оборудования. Примерами таких процессов является получение утолщений на токарном станке, а также с применением сплошной торцевой осадки пуансоном и последовательной осадкой роликом. Но данные способы являются трудоёмкими.

Ранее был получен патент (RU 2590807 С2), в котором предлагается получить утолщения в очаге деформации путём холодной штамповки [2]. Но получение местных утолщений в зоне деформации для титановых заготовок в штампе затруднительно. Это объясняется тем, что для формовки титановых сплавов необходимо выполнять нагрев.

Целью нашего исследования является получение местных утолщений на титановых заготовках в штамповой оснастке с применением электро-контактного нагрева. Для осуществления поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- спроектировать штамповую оснастку, позволяющую производить отбортовку титановых заготовок с помощью электро-контактного нагрева;
- изучить зависимости получения необходимого количества набранного металла.

Предложенный нами метод позволит существенно облегчить процесс отбортовки кромок листовых заготовок без утонения стенок.

## **Литература**

1. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
2. *А.с. RU 2590807 С2, МПК В 21 D 19/10.* Способ отбортовки отверстий в листовом материале / А.С. Матвеев, Н.В. Рассудов, Ю.С. Шумкина, А.В. Иванов (RU). – №2014140883/02 ; заявл. 09.10.2014 ; опубл. 10.07.2016, Бюл. №19. – 11 с.: ил.

**УДК 53.084.823**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКОЙ ШЕСТЕРНИ**

Тигран Геворкович Минасян

*Студент 5 курса*

*кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Власов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии обработки давлением»*

В данной работе я разработал техпроцесс прецессионной штамповки для конической шестерни из заднего моста автомобиля КАМАЗ. Целью работы было подобрать для техпроцесса оптимальные параметры для максимального уменьшения количества операций, а также для уменьшения переходов механической обработки.

Главной целью было отсутствие зубонарезной механической операции после переходов штамповки.

В качестве технологии была выбрана уже существующая технология штамповки похожей шестерни в штампах с подпружиненной матрицей. Но отличие состоит в большой втулочной части, которая имеется на данной шестерне и течение металла в нее затруднено.

В итоге был разработан и промоделирован техпроцесс штамповки шестерни с компенсатором-заусенцем по плоскости разъема матриц. Были рассмотрены разные варианты компенсаторов, чтобы компенсировать излишки металла.

В отличие от имеющейся технологии в моем случае подпружинена только нижняя матрица. Это позволило сократить количество переходов, обойтись без осадки, и отштамповать без дефектов. Всего обработка давлением ограничивается двумя переходами: первый переход это штамповка в окончательном ручье, и второй переход это подчеканка после остывания шестерни для придания поверхности зуба ровной поверхности, правильного профиля а так же обрезать облой и пробить перемычку.

После последнего перехода поковка отправляется на механическую обработку для снятия припусков и напусков, а поверхность зубьев требует только шлифовки.

Благодаря этому обеспечивается минимальное количество переходов и так же существенная экономия материала.

Все процессы промоделированы в программной среде QForm 8.

## Литература

1. *Стариков С.С.* Ношение воды в решетке. – М.: Физматгиз, 1958. – 313 с.
2. *Новиков Н.Н.* К вопросу о переносе воды в сосуде с переменной структурой плотности. // Доклады АН СССР. – 1972, Т.115. – №3. – С. 174-182.
3. Ковка и штамповка / *Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов и др.* – М.: «Машиностроение», 1985 - Т.1. – 194 с., с. 253-265, 296-297
4. Ковка и штамповка / *Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов и др.* – М.: «Машиностроение», 1985 - Т.2. – с. 176-203

УДК 621.762.4

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ШЕСТЕРНИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ СТРУЖКИ

Иван Алексеевич Муравейник

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Демин*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

При изготовлении металлоизделий обработкой резанием (токарные, фрезерные, строгальные и другие операции) накапливается большое количество стружки, и зачастую, обычным способом ее утилизации является переплавка. Однако, при этом потери металла вследствие окисления могут достигать до 20–25 %. В плане уменьшения таких потерь альтернативными «переплавным» являются технологии, применяемые при обработке металлов давлением, например, прессование, при котором можно получать компактные продукты.

Целью работы было получение цилиндрической заготовки с максимальной плотностью равной 1 за меньшее число переходов и с минимальным усилием. Материалом была выбрана алюминиевая стружка Д16. Процесс моделирования прессовки проводился в ПО QForm. В качестве оснастки выступала матрица и скошенный пуансон (рис.1).

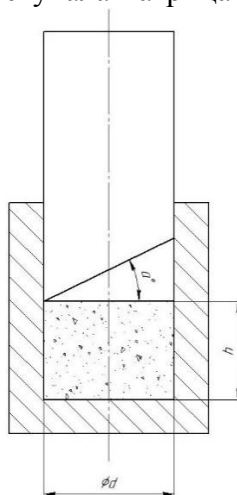


Рис.1 Штамповая оснастка при брикетировании стружки

Брикетирование стружки производилось за несколько переходов. После каждого перехода пуансон поворачивали на 180° вокруг своей оси и снова производили прессовку. После достижения максимальной плотности, выполнялась правка прямым пуансоном и получалась цилиндрическая заготовка. Далее производилась штамповка шестерни.

В ходе работы было проведено моделирование процесса с различными углами скола пуансона и разным соотношением высоты к диаметру заготовки.

По результатам выполненного моделирования были проанализированы графики усилий на переходах, их количество и разработан технологический процесс прессования и штамповки детали из материала, не обладающей высокой плотностью (т.е. стружка, порошкообразный материал).

## Литература

1. Шестаков Н.А., Субич В.Н., Дёмин В.А. Пластическая деформация пористых материалов: Монография. –М.: МГИУ, 2008. – 277 с.

**УДК 621.777.01****НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОРКАМЕРЫ В  
ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ  
АЛЮМИНИЯ**

Антон Андреевич Ничволод

*Студент 4 курса, бакалавриат**кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.М. Дюжнев,**ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»*

Прессование – один из прогрессивных и распространённых процессов обработки металлов давлением. Прессованную продукцию используют как непосредственно для изготовления строительных и конструкционных профилей и панелей, так и в качестве заготовок для последующей обработки давлением.

Стремительный рост технологических возможностей производства инструментальной оснастки в течение последнего десятилетия привёл к расширению номенклатуры получаемых профилей, увеличению их геометрической сложности, а следовательно, и повышению требований к навыкам инженера-конструктора.

Уже сейчас большинство комплектов оснастки для прессования, в частности, полых профилей, производится с применением компьютерного математического моделирования, что приводит к снижению потребности в опытных образцах и быстрому обнаружению потенциальных производственных дефектов.

Однако прогресс не стоит на месте, и появляются системы параметризации внутренних элементов конструкции инструментов оснастки, такие как Inpress, ExtrusionPower и QForm Extrusion Die Designer ([1], [2], [3]). Они призваны сократить объём рутинных действий проектировщика, а с другой стороны, повысить скорость разработки.

Тем не менее, задача автоматизации проектирования оснастки если и решена, то частично, в отношении плоских матриц для прессования относительно простых сплошных профилей. В современных сложных комплектах, содержащих раскататель, управление течением усложняется, и автоматизировать проектирование необходимо уже в связке CAD-CAE. Этот процесс предложен в работе [4].

Одним из важных конструктивных элементов оснастки является форкамера. В плоских матрицах она несёт двойную нагрузку: по обеспечению заданного качества сварного шва и близкого к равномерному истечения металла (степень влияния форкамеры, а также методика её проектирования для плоских матриц рассмотрены авторами [5]). В комплектах с раскатателем на качество шва влияет в большей степени зона сварочной камеры, оставляя форкамере функцию управления течением.

Отдельный интерес представляет автоматизация корректировки параметров форкамеры по результатам моделирования процесса прессования. Вообще говоря, нет особой проблемы в том, чтобы производить линейную корректировку смещения контура форкамеры (см. рис. 1). Однако большие изменения могут не позволить стабилизировать течение, а малые – затянуть процесс проектирования.

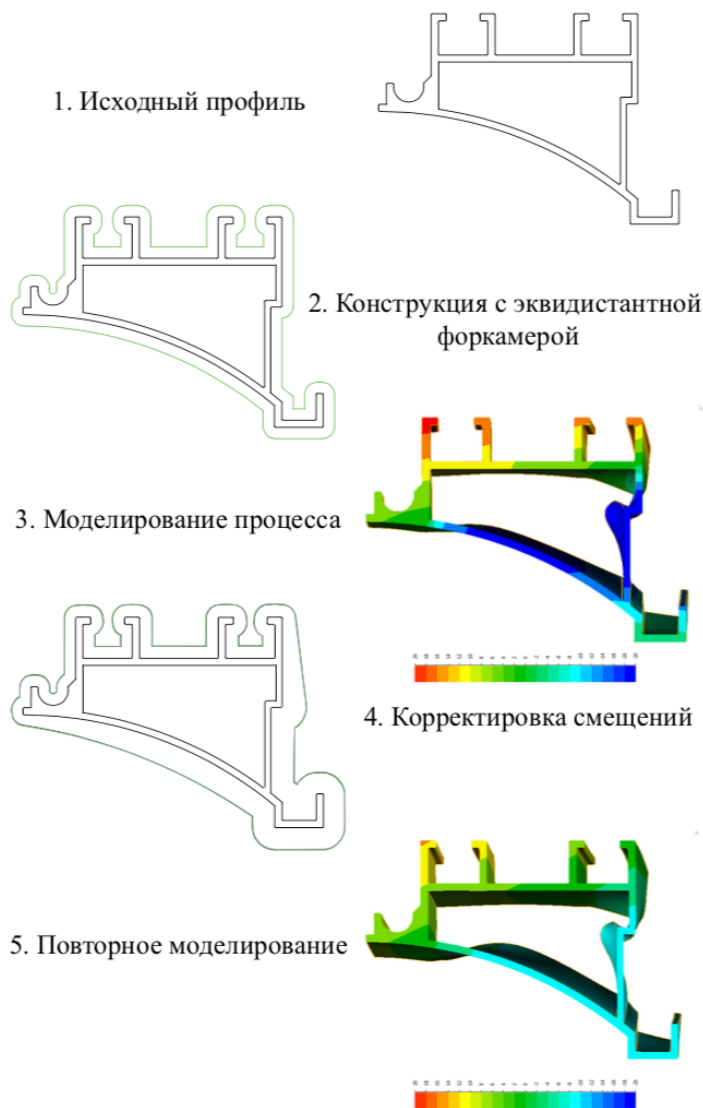


Рис. 1. Выравнивание истечения металла в процессе итеративной корректировки смещения контура форкамеры

В докладе описывается работа предлагаемого алгоритма форкамерного управления течением в процессе прессования сплавов на основе алюминия, а также рассматриваются возможности его реализации.

### Литература

1. Прудковский Б. А., Игуменов А. А., Зорихин В. Н. Автоматизированная система проектирования и изготовления матриц для алюминиевых сплавов // Технология лёгких сплавов. 1986. № 12. С. 72-75.
2. Extrusion Power: Новая технология дизайна матриц для алюминиевой экструзии // МIP: сайт компании. Режим доступа: <http://www.mipgroup.com/extrusionpower.com/russian/index.htm>
3. QExDD // QuantorForm: сайт компании. Режим доступа: <http://qform3d.ru/products/qexdd>
4. Князькин И.С., Дюжнев А.М., Власов А.В., Гладков Ю.А., Лишний А.И. Методика автоматизированного проектирования матричной оснастки для прессования алюминиевых сплавов. Наука и Образование: Научное издание. 2015;(8):1-13. DOI:10.7463/0815.0799997

5. Довженко Н.Н, Сидельников С.Б, Васина Г.И. Система автоматизированного проектирования технологии прессования металлов. Научное методическое обеспечение. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2000. 196 с.

## УДК 621.9

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА КОРПУС ШАРОВОГО КРАНА ИЗ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Владислав Дмитриевич Ортлиб

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.Г. Алленов,

ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

Шаровой кран — разновидность трубопроводного крана, запирающий или регулирующий элемент которого имеет сферическую форму. Это один из современных и прогрессивных типов запорной арматуры, находящий всё большее применение для различных условий работы в трубопроводах разнообразного назначения. Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния бурта поковки т.к. на внутренней поверхности бурта возникает концентратор растягивающих напряжений и получение требуемой геометрии из более простой и дешевой заготовки. В настоящее время заготовкой для корпуса шарового крана является сварная труба. При использовании данной заготовки требуется дополнительное сварочное оборудование и обработка шва перед штамповкой, что снижает производительность процесса и увеличивает себестоимость изделия.

В работе проанализирован технологический процесс штамповки корпуса шарового крана из листовой заготовки в условиях единичного производства, спроектировано 2 штамповые оснастки и фиксирующие устройства стола прессы. Материал заготовки сталь 10.

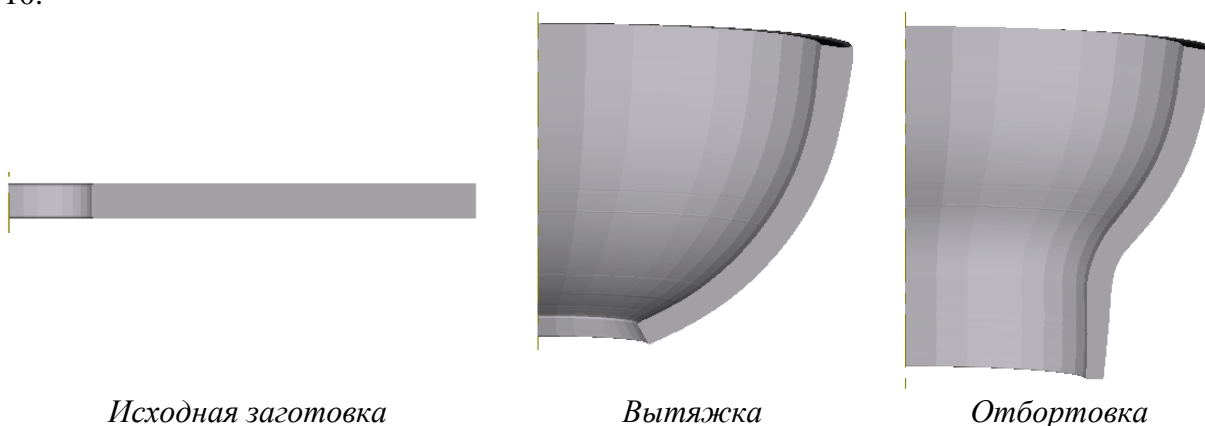


Рис. 1. Технологический процесс штамповки

Процесс выполняется в два перехода на одном гидравлическом прессе простого действия с использованием двух комплектов оснастки. После штамповки партии заготовок оснастка заменяется и производится окончательная штамповка. Основными формообразующими операциями являются: вытяжка и отбортовка. Была проработана форма пуансона с плоской площадкой на его конце. Такая форма позволяет исключить

точечный концентратор деформаций на внутренней стороне бурта поковки, который возникает при использовании сферического пуансона.

В дальнейшем планируется провести эксперимент с целью определения предельных деформация для стали 10, тогда можно будет с большой вероятностью подобрать геометрию, исключающую образование дефектов и выхода размеров поковки из полей допуска. Внедрение данной технологии позволит уменьшить себестоимость поковки за счет использования более дешевой заготовки и улучшить механические свойства за счет отказа от сварного шва, используемого для сваривания труб в имеющейся технологии.

### **Литература**

1. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979 – 520 с., ил.
2. Штампы для листовой штамповки. Штампы простого действия: учебное пособие / *В.А. Демин; А.Н. Плотников; В.Н. Субич; Н.А. Шестаков*; под общ. ред. *В.А. Демина*. – М.: МГИУ, 2010. – 212 с.
3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. / Под ред. *Е.И. Семенова* – М.: Машиностроение, 1987. – Т.4, – 544 с.
4. Технология и автоматизация листовой штамповки/ *Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин*. – М.: МГТУ им. Баумана, 2003, – 480 с.

## **УДК 621.7.043**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШТАМПО-СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДА**

Кирилл Сергеевич Торгонин

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Процессы и машины обработки металлов давлением»*

*Южно-Уральский Государственный Университет*

*Руководитель: В.В. Широков, кандидат технических наук, старший преподаватель  
кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением»*

Применение моделирования методом конечных элементов в металлургии, в том числе при производстве ШСДТ(штампо-сварных деталей трубопровода), является очень важным и, зачастую, необходимым этапом производства. Это помогает экономить предприятиям не только огромное количество денег, требуемых на производство оснастки, пробных партий, но и время, которое было бы потрачено на подгонку технологии.

Особенно эффективно применение моделирования методом конечных элементов на предприятиях, имеющих широкую номенклатуру выпускаемых деталей, в особенности, если эти детали имеют достаточно крупные размеры, в следствии чего, достаточно дорого



и долго производить опытные партии и подбирать параметры технологических операций непосредственно в условиях производства. Как раз к таким относится ООО «ЭТЕРНО», продукцией которого являются:

- тройники штампосварные;
- отводы;
- переходы;
- днища;
- другая продукция, используемая в трубопроводах (опоры трубопровода, тройники разрезные и т.д.).

В ходе работы произведено моделирование процессов обработки металлов давлением для технологического процесса изготовления детали «тройник» в программном комплексе QForm. Смоделированы следующие операции технологического процесса: охлаждение нагретой заготовки до нужной высоты, операция получения пукли, вырезка требуемого отверстия под отбортовку, радиальный обжим горячей заготовки, отбортовка ответвления тройника. С помощью моделирования подобраны необходимые параметры технологических операций, такие как: коэффициент обжима, высота охлаждения заготовки, высота пукли, размер отверстия для отбортовки.

В ходе моделирования был достигнут результат, удовлетворяющий требованиям технических условий.

В условиях предприятия была произведена исследуемая деталь по параметрам, подобранным с помощью моделирования. Сделаны замеры полученного изделия.

Произведено сравнение результатов моделирования с результатами штамповки, сделаны выводы относительно точности полученных результатов и разработаны рекомендации по совершенствованию технологического процесса изготовления данного типоразмера детали.

### **Литература**

1. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник под редакцией Е. И. Семенова, т. 2: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. М.: Машиностроение, 1986. – 592 с.
2. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник под редакцией Е. И. Семенова, т. 4: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. М.: Машиностроение, 1986. – 544 с.
3. *Лавриненко В.Ю.* Компьютерное моделирование процессов холодной объемной штамповки/В.Ю.Лавриненко-Москва:МГИУ,2015-12с.

**УДК 621.983.3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЗАГОТОВКИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПРОБИТЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ**

Андрей Александрович Фомичев

*Студент 5 курса*

*кафедра «Обработка металлов давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Евсюков,*

*доктор технических наук, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением»*

В данной работе исследована возможность реализации техпроцесса вытяжки детали «Выпуск для сифона» из заготовки с предварительно пробитыми отверстиями. Для реализации данного техпроцесса необходимо избавиться от растяжения в доньшке детали, что означает создание в дне жесткой зоны. Технологическое решение для этой задачи – противоположим.

Реализация данного технологического процесса выгодна и удобна для мелкой, средней и крупной серии деталей, так как для такой серийности рационально уменьшение количества операций, что произойдет за счет совмещения вырубki заготовки и пробивки отверстий. Стоимость изготовления дополнительного устройства – противоположима – окупается за счет совмещения операции вырубki и пробивки в одном штампе совмещенного действия.

Данный технологический процесс позволяет получать различные детали типа «стакан» с отверстиями в дне. Возможны различные конфигурации отверстий, так как при достижении жесткого состояния не происходит разрушения, а деформации минимальны.

В теории листовой штамповки мы принимаем допущение, что при вытяжке деталей типа «стакан» в дне заготовки жесткое деформированное состояние. Такое допущение рационально принять для этих деталей, так как растяжение и утонение в доньшке пренебрежимо малы, по сравнению с уменьшением диаметра фланца и его утолщением, так как во фланце находится очаг пластической деформации. Но для заготовок с пробитыми заранее отверстиями растяжением и утонением дна нельзя пренебрегать, так как растяжение и утонение приводит к деформации и разрушению дна.

Опасное сечение для деталей типа «стакан» принимается в цилиндрической части перед дном. В случае же заготовки с предварительно пробитыми отверстиями разрушение происходит в дне. Из этого следует, что необходимо обеспечить следующие факторы – деформированное состояние в дне должно быть жестким. Отсутствие растяжения и утонения дна предотвратит растяжение и разрушение отверстий в дне. Принимая деформированное состояние в дне заготовки жестким, мы, фактически, приводим задачу вытяжки детали с предварительно пробитыми отверстиями к задаче обычной вытяжки детали типа «стакан». Следовательно, очаг пластической деформации будет во фланце заготовки, а опасное сечение в цилиндрической части возле дна.

Для создания жесткой зоны в этом исследовании мы рассмотрим три фактора, которые влияют на трение между заготовкой и инструментами – силу противоположима, коэффициент трения и радиус скругления пуансона. Процесс вытяжки был виртуально смоделирован в программе «AutoForm».

По результатам исследования разрушения заготовки при различной силе противоположима, сделан вывод, что разрушение уменьшается с увеличением силы. Разрушение здесь и далее оценено коэффициентом разрушения альфа, который равен отношению начального диаметра центрального отверстия к минимальному диаметру отверстия, полученного в результате вытяжки.

По результатам исследования разрушения заготовки при различных коэффициентах трения можно сделать вывод, что с увеличением коэффициента трения уменьшается разрушение.

По результатам исследования разрушения заготовки при различных значениях радиуса скругления пуансона можно сделать вывод, что с уменьшением радиуса, из-за увеличения площади соприкосновения, уменьшается разрушение дна заготовки.

По результатам исследования деформирования заготовки при различной силе противоположима, можно сделать вывод, что деформация уменьшается с увеличением силы. Здесь и далее деформация оценена коэффициентом деформации бета, который

равен отношению начального диаметра центрального отверстия к диаметру отверстия, полученного в результате вытяжки.

По результатам исследования деформирования заготовки при различных коэффициентах трения можно сделать вывод, что с увеличением коэффициента трения уменьшается деформация.

По результатам исследования деформирования заготовки при различных значениях радиуса скругления пуансона можно сделать вывод, что с уменьшением радиуса, из-за увеличения площади соприкосновения, уменьшается деформация дна заготовки.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Получить жесткое состояние в дне вытягиваемой заготовки возможно, комбинируя следующие факторы:

- силу противопржима;
- коэффициент трения между заготовкой и пуансоном, заготовкой и противопржимом (смазкой, ее отсутствием или специальной подготовкой поверхности);
- радиус скругления пуансона и противопржима.

2. Получив жесткое состояние в дне заготовки мы, фактически, приводим задачу вытяжки детали из заготовки с предварительно пробитыми отверстиями к задаче простой вытяжки.

### Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 313 с.
2. Бакулин С.Б. Технологические расчеты процессов листовой штамповки. - М.: Машиностроение, 1964. – 182 с.

УДК 621.981. 21

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В РОЛИКАХ НА ГИБОЧНО-ПРОКАТНОМ СТАНКЕ ПРОФИЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ШПАНГОУТА ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА С ЗАДАННОЙ ПРОДОЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ

Марат Искэндэрович Хайрулин<sup>(1)</sup>, Анатолий Григорьевич Попов<sup>(2)</sup>

*Магистр 2 года кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»<sup>(1)</sup>,  
к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение и ОМД»<sup>(2)</sup>  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.А. Марковцев,  
доктор технических наук, генеральный директор АО «Ульяновский НИИТ»*

В настоящее время в авиастроение широкое применение получило изготовление конструктивных элементов жесткости фюзеляжей летательных аппаратов, таких как шпангоуты из гнутых профилей высокопрочных алюминиевых сплавов. На рисунке 1 представлено поперечное сечение Z-образного профиля для заготовки шпангоута, который состоит из стенки 1, отбортовки 2, нижней и верхней полок 3 и 4. Используемым материалом является лист из высокопрочного алюминий-литиевого сплава В-1469 с плакированным слоем. Данный профиль необходимо изготавливать с учетом малых относительных радиусов и низкой пластичности материала (относительное удлинение,  $\delta$  не более 8 %).

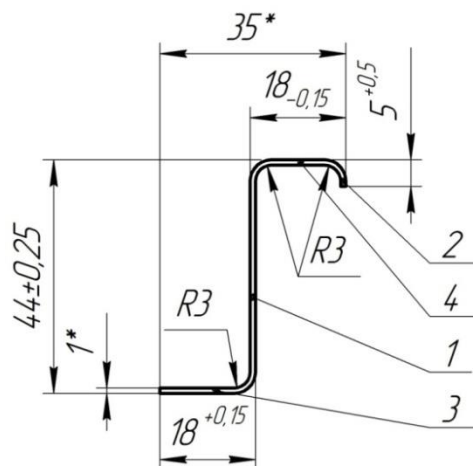


Рис. 1. Поперечное сечение Z-образного профиля для заготовки шпангоута

Согласно требованиям Z-образный профиль целесообразно изготавливать методом стесненного изгиба в роликах на гибочно-прокатных станках (ГПС). Сущность метода заключается в последовательном изменении формы поперечного сечения заготовки (металлическая лента, полоса) при прохождении ее через ряд вращающихся навстречу друг другу, последовательно установленных пар роликов. Гибка осуществляется в несколько переходов. Сначала получают профилированную заготовку с радиусами больше заданных, а затем – профиль окончательной формы с малыми относительными радиусами. Для создания условий стесненного изгиба ширина плоской заготовки должна превышать ширину развертки калибра. Осадка криволинейных участков профилированной заготовки, прилегающих к угловым зонам, создает дополнительные силы, позволяющие получить в ограниченном контуре локальный набор материала по зонам изгиба профиля и малые относительные радиусы. На рисунке 2 представлена схема переходов для формообразования Z-образного профиля на станке ГПС методом стесненного изгиба за 6 переходов [1].

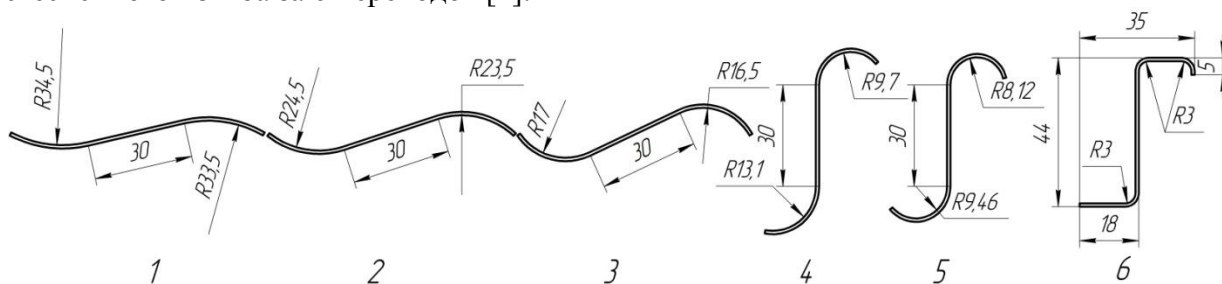


Рис. 2. Схема переходов Z-образного профиля для заготовки шпангоута

После формообразования профиля заготовкам шпангоута необходимо придать продольную кривизну. Схема процесса продольной гибки представлена на рисунке 3. Заготовка при прокатке перемещается от сопряженных подающих роликов в направлении опорно-нажимного ролика. Параметрами настройки в рассматриваемом способе формообразования являются расстояние  $L_P$  между опорным и нажимным роликами и перемещение  $H_P$  нажимного ролика. Первый из этих параметров  $L_P$  – установочный, его величина назначается исходя из конструктивных возможностей и располагаемой мощности станка. Вторым параметром  $H_P$ , является настроенным зависящим при прочих равных условиях, от кривизны детали, создаваемой при формообразовании [2].

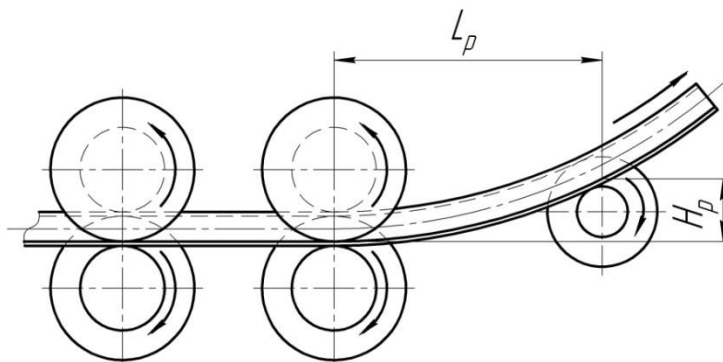


Рис. 3. Схема процесса продольной гибки

### Литература

1. Мищенко О.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей с отбортовками в роликах методом интенсивного деформирования – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 122 с.
2. Лысов М.И. Формообразование деталей гибкой. – М.: «Машиностроение», 2001. - 388 с.

УДК 621.7.043

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ "КРЫШКА"

Богдан Леонидович Хмельницкий

*Студент 6 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии обработки металлов давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Алимов,*

*к.т.н., доцент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»*

В авиакосмической промышленности невозможно обойтись без изделий листовой штамповки. Это обусловлено их легкостью, достаточной обрабатываемостью и технологичностью. Большая часть изделий выполняется из тонких листов дорогих сталей и цветных металлов, и даже самая простая деталь имеет дорогую и заточенную под небольшую серийность технологию. Целью этой работы было создание принципиально новой технологии получения детали «Крышка» при средней серийности из стали 12Х18Н10Т толщиной 0,5 мм.



Рис. 1. Деталь «Крышка»

Проблемы исходной заводской технологии, из-за которых было решено разработать новую, следующие:

- растрескивание борта внутреннего отверстия при отбортовке;
- половина изделий в партии из 8 штук – брак;
- длинный технологический цикл;
- вырезание отверстий происходит на электроэрозионном станке;
- высокая стоимость производства, необходимость в дорогостоящем оборудовании.

Решением вышеописанных проблем стало переосмысление процесса получения детали и создание штампов совмещенного действия, обеспечивающим максимальное формоизменение заготовки за один переход, и для пробивки отверстий с поворотом пуансона на фиксированный угол.

После определения переходов штамповки производился аналитический расчет заготовки детали, а затем моделирование переходов штамповки в среде AutoForm<sup>®</sup>R6 с целью убедиться, что:

- рассчитанная заготовка верна;
- рассчитанные силы аналитически сходятся с результатами моделирования;
- формоизменение происходит без дефектов, утонения и растрескивания кромок.

Так как программа зарубежного производителя содержит только материалы соответствующие стандартам ЕС, США, Японии и т.д., то точным аналогом стали 12X18H10T является 1.4541 по стандартам ЕС, соответственно моделирование производилось с использованием реологической модели данного материала-аналога.

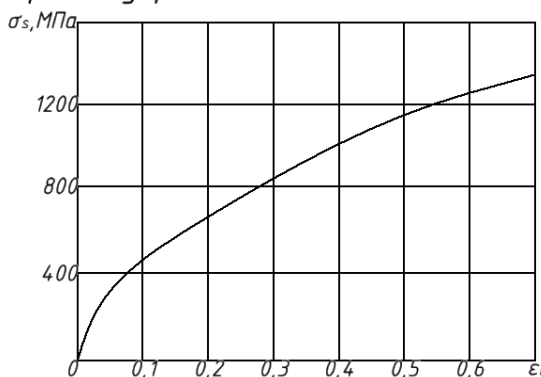
*Кривая упрочнения стали 12X18H10T*

Рис. 2. Кривая упрочнения стали 12X18H10T

Моделирование производилось в два этапа:

1. моделирование вытяжки без фланца, формовки заготовки;
2. моделирование отбортовки внутреннего отверстия тремя видами пуансонов.

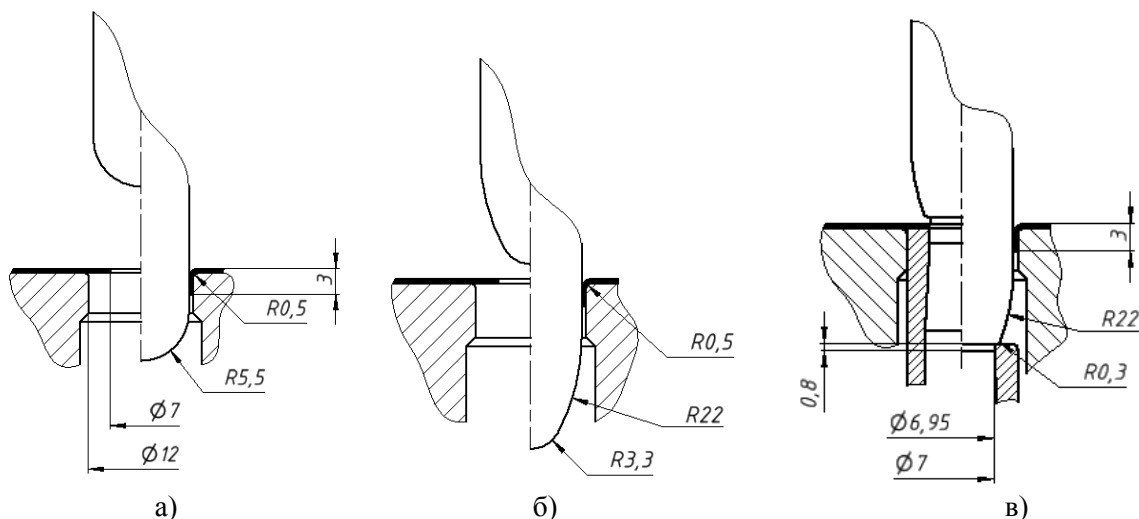


Рис. 3. Варианты конструкций пуансонов: а) сферический пуансон; б) криволинейный пуансон; в) комбинированный пуансон с криволинейной образующей и пробивной кромкой

Результаты моделирования показали, что сферический пуансон требует больших сил деформирования, чем криволинейные, и обеспечивает сильное утонение на значительной части стенки (0,2 мм), также увеличивается вероятность растрескивания кромки борта. Оптимальным вариантом отбортовки является комбинированный вместе с пробивкой из-за меньших сил, более мягкого течения процесса и возможностью ликвидировать один переход в штампе. Аналитический расчет соответствует математическому моделированию, что позволяет судить о приемлемой точности инженерных формул, рекомендуемых в [1] и [2].

Проектирование штампов производилось в программном комплексе Autodesk Inventor 2016 в виде трехмерных твердотельных моделей. При проектировании были разработаны оригинальные механизмы штампов для одновременной пробивки-отбортовки, пробивного пуансона, способным поворачиваться на 45 градусов.

Проведенные изыскания позволили значительно повысить производительность штамповки данного вида детали, сократить номенклатуру инструментов и оборудования, а также снизить стоимость детали.

### Литература

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6 изд. перераб. и доп. – Л. Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1979. – 520 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/ Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.:Машиностроение, 1988. – 496 с.
3. Ковка и штамповка. Справочник, в 4 т., Т.4 Листовая штамповка/ Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1986. – 592с.

## Секция VII

### Технологии сварки и диагностики

Председатель:

**Коновалов Алексей Викторович**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-7

Ученый секретарь:

**Прилуцкий Максим Андреевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-7



**УДК 621.791.7**

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ МОСТОВОГО КРАНА**

Валерий Игоревич Алексеев

*Студент 2 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Компьютерная программа «Кран» предназначена для помощи студенту 4 курса в выполнении курсового проекта по сварным конструкциям. Использование студентом этой программы в домашних условиях позволяет понять устройство пространственной конструкции мостового крана, рассмотрев на экране монитора его схему, внешний вид и работу в цехе, а также проверять правильность каждого этапа проделанных при проектировании расчётов. Программа написана на языке C++ с использованием графического пакета OpenGL.

Подпрограмма анимации необходима для понимания работы крана и его основных узлов в заводском цехе. На экране отображаются основные узлы мостового крана: пространственная ферма с концевыми балками, движущимися по рельсам вдоль цеха, а также тележка с механизмом подъёма груза, перемещающаяся по ферме крана поперек цеха. Основные функции данной части программы:

- наглядное представление внешнего вида и устройства мостового крана;
- возможность управлять всеми перемещениями крана с помощью колесика мыши.

Каждый стержень крана представляет собой профиль проката и отображается в виде набора четырехугольников, окраска которых имитирует освещение и создает объемный эффект. Тележка отображается в виде параллелепипеда с четырьмя колёсами. Она перемещается по рельсам на верхних поясах главных ферм крана. Сам кран показан в перспективной проекции, при перемещении его размеры на экране изменяются.

В дальнейшем предполагается улучшить реалистичность изображения: показать подкрановые пути с рельсами, подвесную кабину, электродвигатель с лебедкой на тележке крюк с грузом на конце троса. Таким образом, студент при защите проекта будет иметь некоторое представление о разработанном им объекте.

### **Литература**

1. Ву М., Девис Т., Нейдер Дж., Шрайнер Д. OpenGL. Руководство по программированию. СПб.: Питер, 2006. 624 с.

**УДК 621.791.7**

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МОСТА ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО СВАРНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ**

Юлия Сергеевна Алёшина

*Студентка 4 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Компьютерная программа «КРАН» предназначена для помощи студенту 4 курса в выполнении курсового проекта по сварным конструкциям. Использование студентом этой программы в домашних условиях позволяет понять устройство конструкции мостового крана, рассмотрев на экране монитора его схему, внешний вид и работу в цехе, а также проверять правильность каждого этапа проделанных при проектировании расчётов. Программа написана на языке С++ с использованием графического пакета OpenGL.

Подпрограмма визуализации «Размеры» необходима студентам для наглядного представления о конструкции и размерах выданного студенту индивидуального варианта пространственной фермы моста. Ее основные функции:

- трёхмерное представление варианта задания на экране монитора;
- возможность управлять видимостью элементов конструкции, показывая ее целиком или по частям;
- возможность управлять положением конструкции на экране, рассматривать ее с разных сторон;
- показ конструкции в стандартных прямоугольных проекциях с обозначениями размеров.

В начале работы с программой «КРАН» студент регистрируется, вводя свою фамилию и номер варианта задания. Окно «Размеры» является составной частью программы, оно появляется на экране при выборе в меню пункта «Размеры». Все необходимые подсказки для пользователя находятся на странице или появляются в строке внизу экрана при подведении курсора к соответствующему элементу управления.

Визуальное представление помогает избежать ошибок на начальном этапе проектирования и служит опорой для дальнейших расчётов. Оно позволяет также компактно отобразить результаты расчетов и изменения, вносимые в конструкцию в процессе проектирования.

### **Литература**

1. Ву М., Девис Т., Нейдер Дж., Шрайнер Д. *OpenGL*. Руководство по программированию. СПб.: Питер, 2006. 624 с.

**УДК 620.179.1****УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ  
КАМЕРЫ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОКУСИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
С ЛОКАЛЬНЫМ СТРУЙНО-ИММЕРСИОННЫМ КОНТАКТОМ**

Владислав Евгеньевич Белозор

*Студент 5 курса,**кафедра «Технологии сварки и диагностики»**Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана**Научный руководитель: А.Л. Ремизов,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Современные жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) в России представляют собой конструкции, внутренняя и наружная оболочка которых соединены при помощи пайки. Характерными дефектами паяных соединений камер сгорания ЖРД являются непропаи. Минимальный размер площади непропая, который в соответствии с конструкторской документацией (КД) необходимо выявлять, составляет 1 мм<sup>2</sup>. Использование магнитного и рентгеновского методов контроля по различным причинам не дало положительного результата, поэтому было предложено использовать ультразвуковую дефектоскопию.

Для возможности акустического контроля необходимо, чтобы метод характеризовался следующими показателями:

1) малая длительность ( $\Delta t = 5-20$  нс) зондирующего ультразвукового импульса, что приводит к повышению продольного пространственного разрешения  $\Delta l = 5-10$  мкм;

2) малый диаметр зондирующего пучка 0,6—1 мм, что позволяет повысить чувствительность контроля на эффективной площади неоднородности;

3) аperiodичность зондирующего импульса, которая дает практическое отсутствие «мертвой зоны» и позволяет определять акустический импеданс неоднородности.

Такие показатели не могут быть получены при использовании стандартных пьезоэлектрических преобразователей, поэтому предлагается использовать УЗ-контроль с использованием фокусирующего преобразователя с локальным струйно-иммерсионным способом контакта.

В процессе работы был спроектирован специальный струйно-иммерсионный преобразователь, в котором реализован метод жидкостного «клина». В данном устройстве струя формируется соплом, имеющим экспоненциальный закон изменения сечения, который обеспечивает формирование струй с ламинарным потоком. Устройство содержит демпферную камеру, которая уменьшает турбулентность потока, поступающего в сопло, а пьезопреобразователь расположен на оси сопла для создания акустического поля. Устройство обеспечивает стабильное движение жидкости с целью снижения акустических помех и, как следствие, получение более четких акустических сигналов, отраженных от дефектов.

**Литература**

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 3. И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.

**УДК 53.087.92**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ**

Станислав Русланович Блинов

*Студент 6 курса , специалитет*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. Л. Ремизов,*

*кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Анализ разрывов трубопроводов теплосетей в отопительный период показывает, что коррозия стальных труб является причиной 80-85% всех аварий на теплотрассах. Проблема возникновения аварий также заключается в том, что процессы коррозии чаще всего носят локальный, неоднородный характер, и без проведения специальных диагностических мероприятий такие дефекты коррозии практически не выявляемы вплоть до возникновения аварии. Методы технического диагностирования, традиционно применяемые для оценки технического состояния трубопроводов пара и горячей воды в соответствии с действующими НТД (РД 10-369-00, ПБ 10-573-03, РД 10-577-03), не позволяют решить поставленной задачи выявления локальных коррозионных дефектов.

В работе рассмотрены причины, приводящие к отказам изделия: технологические, дефекты монтажа и ремонта, эксплуатационные, отработка ресурса. Проведен анализ характерных видов повреждений наружной и внутренней поверхностей изделия (трубы). Выбрана схема контроля.

Рассчитаны параметры контроля, на основании экспериментов построены зависимости времени прохождения сигнала от остаточной толщины стенки изделия, ослабления амплитуды сигнала от остаточной толщины стенки изделия, ослабления амплитуда сигнала от частоты пьезопреобразователя.

Описан общий вид устройства для контроля, состоящего из четырех модулей - акустического, тягового и двух модулей питания.

Разработана методика проведения контроля:

1. Сборка установки
2. Подъем устройства краном через вспомогательные желоба и опускание устройства в основную трубу.
3. Проведение прямого и обратного проходов.
4. Извлечение устройства из трубы.

Выполнен патентный обзор.

### Литература

1. Основы диагностики технических устройств и сооружений / [Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин]. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015
2. Щербинский В.Г. «Технология ультразвукового контроля сварных соединений». Изд-во «Тиссо», Москва, 2005 г. Изд. 2-е исправленное.
3. Официальный сайт МОЭК
4. РД 10-400-01 «Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей».
5. API 1104 Standard for Welding pipelines and related facilities.
6. ГОСТ 14782-86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.»
7. А.Н. Иванов «Состояние и перспективы развития ультразвукового контроля при производстве труб» / Известия ЮФУ. Технические науки.
8. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. «Ультразвуковой контроль сварных соединений»/М.:Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана,2000.
9. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети».

### УДК 621.791.7

## СОРТАМЕНТ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТА ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО СВАРНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ

Виктория Юрьевна Бобринская

*Студентка 4 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Выполнение курсового проекта по сварным конструкциям - важный этап подготовки инженеров-сварщиков. Разработка программного обеспечения для студентов и преподавателей позволяет повысить качество преподавания этой сложной дисциплины. Студент – автор проекта получает справочную систему, позволяющую в домашних условиях находить информацию, необходимую для проектирования, а также проверять правильность проделанных расчетов. Преподаватель – консультант проекта освобождается от рутинной проверочной работы, это позволяет ему включать в процесс проектирования больше творческих оригинальных элементов.

При проектировании мостового крана используются стандартные профили проката из нескольких ГОСТов и ТУ. Их параметры необходимы как студенту, так и преподавателю. База данных по этим профилям может служить самостоятельным полезным программным продуктом. Ее основные функции:

- наглядное представление о профиле: чертеж с размерами;
- наличие сводной таблицы параметров выбранного типа профиля;
- возможность выбора типа профиля (двутавр, тавр, швеллер, уголок, труба);
- подбор профиля по запросу (профиль минимальной массы с заданным моментом сопротивления изгибу и т.д.);
- возможность пополнения базы данных путем включения новых профилей данного типа и добавления новых типов профилей;
- возможность редактирования данных при обнаружении ошибок и изменениях нормативной документации.

Непосредственно хранится в памяти компьютера минимально необходимый набор параметров, вводимых вручную при пополнении базы данных. Все производные параметры рассчитываются при выборе пользователем конкретного профиля.

Программа «Сортамент» является составной частью двух программ «КРАН» и «КОНС», предназначенных, соответственно, для автора и консультанта курсового проекта по сварным конструкциям. Она появляется на экране при выборе в меню пункта «Сортамент» и содержит таблицу с параметрами профилей, чертеж профиля с размерами и набор управляющих элементов для навигации по странице.

Электронная версия справочных таблиц обеспечивает возможность дальнейшего развития системы программного обеспечения: автоматический выбор сечений элементов фермы мостового крана из расчетов на статическую прочность, выносливость и устойчивость, а также оптимизацию сварной конструкции по массе и технологичности изготовления.

### Литература

1. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Под ред. Г.А.Николаева. - М.: Высш. школа, 1990. 446 с.

### УДК

#### **Влияние низких температур на критерии оценки типов дефектов при контроле труб волнами Лэмба.**

Ксения Александровна Бондарчук

*Студентка 5 курса*

*кафедра «Технологи сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.А. Дерябин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В работе представлен анализ влияния понижения температуры на отношения фазовых скоростей волны Лэмба до дефекта и после дифракции при наличии в металле плоскостного дефекта (трещины).

В работе проанализирована ситуация контроля тонкостенных трубопроводов, проходящих в межэтажных и стенных перегородках зданий и сооружений в условиях низких температур (до - 80 град.С). В результате разработана модель влияния низких температур на фазовые скорости мод волн Лэмба, распространяющихся до несплошности и мод, полученных в результате дифракции на плоскостном дефекте при различных углах наклона трещины.

Результаты расчетов представлены на рис. 1.

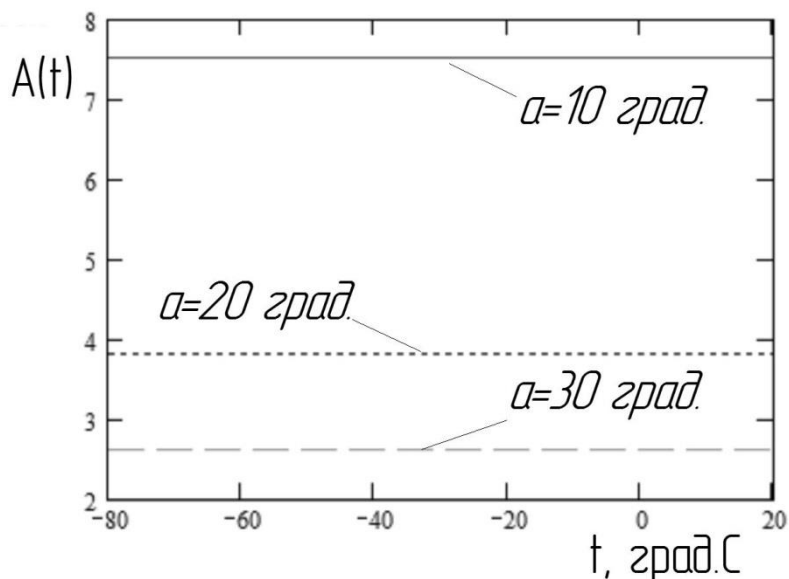


Рис. 1. Влияние температуры на отношение  $A(t)$  фазовых скоростей волны Лэмба до дефекта и после дифракции при различных углах наклона трещины:  $a=10, 20$  и  $30$  град

Согласно результатам расчетов (рис.1), приходим к следующим выводам:

- температуры объекта контроля не влияет на отношения фазовых скоростей мод волны Лэмба до дефекта и после дифракции;
- для методики определения угла наклона трещины, основанной на измерении времени прихода волны Лэмба, достаточно учесть изменение фазовой скорости волны Лэмба в бездефектной пластине с учетом изменения температуры.

### Литература

1. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. 2-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение, 2013. -576 с.: ил.
2. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.:Машиностроение, 2006. -368 с.
3. Экспериментальное исследование особенностей возникновения и распространения волн Лэмба при импульсном возбуждении методом клина / И.Н. Ермолов, В.Т. Бобров, С.В. Веремеенко и др. // Дефектоскопия. - 1971. - № 2. – С. 43 – 49 .
4. Никифорова Ж. Г., Бобров В. Т., Авербух И.И. Распространение волн Лэмба в анизотропных листах // Дефектоскопия. – 1972. - № 5. – С. 56-63.

УДК 620.179.1

## ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Инна Вадимовна Воронкова

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Л. Ремизов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Наиболее нагруженными деталями в газотурбинных двигателях являются лопатки компрессора и турбины, поэтому от их технического состояния в значительной степени зависит надёжность работы двигателя. Внешний вид лопаток авиационных двигателей приведён на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид лопаток

Традиционно для неразрушающего контроля лопаток газотурбинных двигателей используется визуально-измерительный контроль (ВИК), осмотр выполняется с помощью бороскопа (видеоскопа) или аналогичных устройств. Хорошо подходит для выявления повреждений лопаток, обрывов, а также трещин, имеющих значительное раскрытие. Но искомые трещины на рабочих лопатках турбин высокого давления выходят на поверхность на заключительных стадиях развития, поскольку их зарождение идёт с внутренних поверхностей. Поэтому с помощью визуально-измерительного контроля подобные трещины выявить сложно. И самое основное: ВИК не позволяет выявлять подповерхностные трещины [1]. Аналогичным недостатком обладает и метод контроля проникающими веществами. Для обнаружения подповерхностных трещин лучше всего подходят вихретоковый [2] и ультразвуковой [3] методы неразрушающего контроля.

### Литература

1. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. Т. 3. Ультразвуковой контроль. / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге; Под общ. ред. В.В. Клюева. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.: ил.
2. ГОСТ 20415-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.
3. ГОСТ Р 55611-2013 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения.

### УДК 620.179.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУХОГО ТОЧЕЧНОГО КОНТАКТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Павел Георгиевич Гуляев

*Студент 5 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*



*Научный руководитель: Н.А.Щипаков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В настоящее время для ультразвукового контроля качества кольцевых сварных соединений широко применяют поперечные волны с вертикальной (SV) поляризацией. Однако, учитывая зависимость коэффициента отражения от угла падения на дефект, следует отметить, что при углах  $14^{\circ}$ - $33^{\circ}$  и  $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$  амплитуда отраженного сигнала SV-волн значительно снижается. Коэффициент отражения SH-волн независимо от угла падения всегда равен единице. Такие волны не трансформируются в продольные при отражении и обеспечивают низкий уровень структурных шумов. Поэтому использование горизонтально поляризованных волн при выявлении дефектов предпочтительнее.

В то же время возбуждение волн с горизонтальной поляризацией является непростой задачей. Получить такие волны с применением стандартных пьезопластин и наклонных призм, как это делается для генерации SV-волн, невозможно. В данной работе проводились исследования особенностей возбуждения SH-волн различными методами. Наиболее перспективным является метод сухого точечного контакта (СТК). Преобразователи с СТК с центральной частотой 150-200 кГц широко применяются при контроле бетонных конструкций.

Однако применение таких преобразователей для неразрушающего контроля кольцевых стыков магистрального трубопровода недопустимо из-за необеспечения требуемой чувствительности, вследствие их низкой частоты. Для выполнения требований нормативной документации по чувствительности необходимо использовать специализированные преобразователи. Их особенностью является возможность возбуждать SH-волны на частотах от 2,5 до 5 МГц.

В работе предложена схема оборудования для проведения неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов, включающая бандаж с закрепленным на нем набором вышеуказанных преобразователей. Также предложена методика контроля с использованием данного оборудования.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 24 с.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практическое пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.: ил.

### **УДК 620.179.1**

## **ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Николай Олегович Евсин

*Студент 5 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Широкое применение полимерных композиционных материалов в различных отраслях промышленности повышает требования к их качеству. Особенно остро проблема качества стоит в отраслях промышленности, производящих изделия ответственного назначения, где аварии, вызванные применением дефектных деталей и узлов, связаны с огромными материальными потерями и человеческими жертвами.

Контроль качества композиционных материалов необходимо проводить как в процессе производства (вследствие отклонений производственных процессов могут образовываться различные виды неоднородностей структуры: пористость, посторонние включения, расслоения и трещины и др.), так и в процессе эксплуатации.

Различают композиционные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической или др. основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.

В настоящее время для контроля изделий из полимерных композиционных материалов применяются акустические, радиационные, тепловые и оптические методы неразрушающего контроля. Многие из перечисленных методов не обеспечивают выявления дефектов, требуют сложной калибровки, а радиационные методы требуют повышенных требований безопасности.

В работе предлагается в качестве метода контроля использовать контроль вихревыми токами для композиционных материалов, выполненных из нитевидных волокон графита, который является электропроводящим материалом.

Применение вихретокового метода контроля позволит определять такие производственные дефекты, как расслоения, отслоения отдельных слоев, трещины, вмятины и сколы на поверхности, обрывы нитей, пористости, инородные включения.

В работе определены параметры: частота, траектория перемещения преобразователя, параметры преобразователя. Установлено относительное вносимое напряжение и разработана методика контроля.

### **Литература**

1. *Троицкий В.А., Карманов М.Н., Троицкая Н.В.* Неразрушающий контроль качества композиционных материалов // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль.* 2014. №3. С. 29-33.
2. *Карташова Е.Д.* Технологические дефекты полимерных слоистых композиционных материалов / *Е.Д. Карташова, А.Ю. Муйземнек* // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* 2017. №2 (42). С. 79-89.
3. *Гайдачук В.Е., Коваленко В.А.* Уровни дефектов структуры в изделиях из полимерных композиционных материалов, возникающих в процессе их производства // *Авиационно-космическая техника и технология.* 2012. № 6. С.5-12.

**УДК 620.179.1**

## **КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ АКУСТИЧЕСКИМ ИМПЕДАНСНЫМ МЕТОДОМ**

Андрей Геннадьевич Егоров

*Студент 5 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Согласно практике, сложившейся в мировом авиастроении, одним из достоверных критериев оценки эксплуатационной прочности и долговечности планера самолёта является динамика развития в нём различных эксплуатационных дефектов и износов. Развитие дефектов в конструкции ведёт к снижению её прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям. Конструкция планера из композитных материалов формируется из многослойных неметаллических материалов. Кроме того, полимерные композитные материалы, создаваемые при изготовлении планера, отличаются большим затуханием ультразвуковых волн, неоднородностью структуры и значительной упругой анизотропией. Многослойные конструкции имеют несколько границ раздела материалов с различными акустическими свойствами. Наиболее характерными дефектами в таких конструкциях являются непроклеи, расслоения, зоны нарушения соединений отдельных элементов с остальной конструкцией. Поэтому в качестве базового метода неразрушающего контроля дефектов многослойных конструкций из композиционных материалов, находящихся в эксплуатации, принят акустический импедансный метод [2].

Акустический импедансный метод основан на анализе изменения механического или входного акустического импеданса участка поверхности контролируемого объекта, с которым взаимодействует преобразователь. В низкочастотных импедансных дефектоскопах преобразователем служит колеблющийся стержень, опирающийся на поверхность. Между ними нет контактной жидкости (сухой контакт). Появление подповерхностного дефекта в виде расслоения делает расположенный над дефектом участок поверхности более гибким, податливым, т. е. снижает его механический импеданс. В результате изменяется режим колебаний стержня, в частности, уменьшаются механические напряжения на приемнике, что служит признаком дефекта [1].

В результате проведения работы подтверждена возможность применения акустического импедансного метода контроля. Установлен порядок настройки чувствительности дефектоскопа и способ определения размера дефекта. На основании полученных данных установлена пригодность изделия к эксплуатации.

### Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т./ Под общ. ред. *В.В.Клюева*. Т. 3. *И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге*. Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.
2. *Францев М.Э.* Дефектоскопия корпусов судов из композитных материалов, находящихся в эксплуатации, акустическими методами неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 2013. № 1. С. 3-11.

**УДК 621.791.92**

### **НАНЕСЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ**

Александр Владимирович Журавлев

*Студент 3 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В.Коберник,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

**Цель:** Исследовать процесс нанесения алюминиевых покрытий

**Задачи:**

- 1) Оценить распределение алюминиевого покрытия на материале;
- 2) Оценить возможности для нанесения алюминиевого покрытия сверлильного и токарного станков
- 3) Выбрать наиболее подходящий станок для дальнейшей работы

Основные положения исследования:

В настоящее время одним из перспективных направлений науки является изучение способов нанесения алюминиевого покрытия на различные материалы с помощью сварки трением. Для работы использовались сверлильный и токарный станки. На первых этапах нашей работы мы выяснили, что сверлильный станок не подходит для полноценного нанесения алюминиевого покрытия, и, что, в этих целях наиболее пригоден – сверлильный станок.

**Вывод:**

В результате проведенной работы были получены первые результаты опытов: с помощью сверлильного станка на пластины в малых количествах был нанесен алюминий и получены первые, примерные образцы. В последствии эти образцы были разрезаны, для дальнейшего изучения структуры алюминиевого стержня.

## Литература

1. Journal of Asian Ceramic Societies 4 (2016) – 209-218
2. Materials and Design 86 (2015) 61-71
3. Materials and Design 52 (2013) 373-383

**УДК 53.084.823**

## ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БАББИТА

Дмитрий Сергеевич Зинюхин

*Студент 3 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В. Коберник,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Технология плазменно - порошковой наплавки предлагается взамен существующим технологиям нанесения антифрикционного сплава баббита, таким как литьё, напыление и дуговая наплавка. Данная технология имеет такие преимущества как высокая производительность, возможность автоматизации и применения порошка в качестве присадочного материала [3].

Также, эта технология применяется для восстановления подшипников скольжения и узлов трения. Показано влияние режимов наплавки и наличия подслоя на структуру и

эксплуатационные характеристики. Были определены параметры интерметаллидной фазы - длина, ширина, концентрация [1,2].

В ходе исследования было выявлено влияние на структуру таких режимов как: скорость наплавки, наличие оловянного подслоя, импульсных режимов и состава защитного газа.

Получена зависимость эксплуатационных характеристик от геометрических размеров интерметаллидной фазы.

### **Литература**

1. *Барыкин Н.П., Фазлыахметов Р.Ф., Валеева А.Х.* Влияние структуры баббита Б83 на интенсивность износа трибосопряжений. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2006. - №2 (608) . С.44 – 46
2. *Потехин Б.А., Илюшин В.В., Христолюбов А.С.* Влияние способов литья на структуру и свойства оловянного баббита. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2009. №8 (650). С.16-21
3. *Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А.* Плазменная наплавка. Киев: Экотехнология, 2007. 292с.

**УДК 621.791.7**

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ФЕРМЫ МОСТОВОГО КРАНА**

Владислав Сергеевич Ким

*Студент 4 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Выполнение курсового проекта по сварным конструкциям - важный этап подготовки инженеров-сварщиков. Разработка программного обеспечения для студентов и преподавателей позволяет повысить качество преподавания этой сложной дисциплины. Одной из важных частей проекта является определение нагрузки на элементы металлоконструкции мостового крана с учетом перемещения тележки с грузом в процессе его работы. Проблема состоит в том, что студенты сварочной специальности имеют недостаточную подготовку в области строительной механики, поскольку эта дисциплина не входит в программу их обучения. Визуализация изменения усилий в стержнях фермы позволяет студенту лучше понять условия их работы и выбрать рациональный вариант проектируемой конструкции.

Студент – автор проекта получает справочную систему, (программу «КРАН») позволяющую в домашних условиях находить информацию, необходимую для проектирования, а также проверять правильность проделанных расчетов. Подпрограмма «Ферма» является составной частью программы «КРАН». Она появляется на экране при выборе в меню пункта «Ферма» и содержит изображение главной фермы мостового крана с тележкой, которая движется по верхнему поясу крана. Студент управляет движением тележки посредством вращения колесика мыши. При этом демонстрируется изменение

величины и знака продольных усилий в каждом из стержней фермы, а также деформации фермы под нагрузкой.

В зависимости от усилия в стержне изменяется его цвет на экране. Расположенная рядом цветовая шкала позволяет определить уровень нагрузки в килоньютонах, соответствующий каждому цвету. Изменение длины стержней приводит к перемещению узлов фермы. Эти перемещения и прогиб фермы также демонстрируются на экране в увеличенном для наглядности масштабе. Программа написана на языке C++ с использованием графического пакета OpenGL.

Визуализация позволяет разобраться в работе мостового крана и определить, при каких положениях тележки возникают наибольшие и наименьшие усилия в каждом из стержней, что необходимо для подбора их сечений из расчета на выносливость.

## Литература

1. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Под ред. Г.А.Николаева. М.: Высшая школа, 1990. 446 с

УДК 621.791.75.053

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ МАГНИТНОГО МЕТАЛЛА

Михаил Евгеньевич Козырев<sup>(1)</sup>, Гу Цзэжэнь<sup>(2)</sup>

Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Рыбачук,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В работе выполнены экспериментальные измерения индукции магнитных полей в зоне дуговой сварки низкоуглеродистой стали толщиной 10 мм.

Для учёта искажения магнитных полей магнитным материалом был выполнен расчёт немагнитной зоны ограниченной изотермой Кюри. В расчёте были использованы параметры режима автоматической сварки под флюсом пластины с полным проплавлением. Расчёты проведены по модели подвижного точечного источника в полубесконечной пластине, используя выражение  $T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp(-\frac{v}{2a}(R+x))$ . Так как при сварке пластины определить распределение магнитного поля в зоне сварки невозможно, по данным расчёта была вырезана в пластине немагнитная зона (изотерма Кюри).

Измерения магнитных полей было выполнено без сварки, цифровым гауссметром GM2. В результате были получены данные о деформации четырёхполюсного магнитного поля в направлении сварки и по толщине изделия. Определено, что смещение оси магнитного поля и нарушение симметрии магнитных полей четырехполюсной магнитной системы происходит в направлении сварки.

Определены значения индукции магнитных полей при разных токах и по толщине изделия в катушках магнитной системы. В процессе сварки ферромагнитных деталей, при

одной и той же величине тока магнитное поле в области сварочной ванны уменьшается. Кроме этого происходит уменьшение вводимого магнитного поля по толщине свариваемого изделия.

### Литература

1. Рыбачук А.М. и др. Деформация дуги в квадрупольном магнитном поле [Текст] / А.М. Рыбачук, Ц. Гу, Н.В. Крысько // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №8-1. – С.73-78.
2. Крысько Н.В. и др. Особенности области, чувствительной к внешним магнитным полям при сварке в аргоне и смесях [Текст] / Н.В. Крысько, А.М. Рыбачук // Сварка и диагностика. – 2014. – №5. – С. 54-56.
3. Акулов А.И. и др. Удержание жидкого металла сварочной ванны поперечным магнитным полем [Текст] / А.И. Акулов, А.М. Рыбачук // Сварочное производство. – 1972. – №2. – С. 3-4.
4. Коновалов А.В. и др. Теория сварочных процессов [Текст] / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. – 752 с.

### УДК 621.791

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАПЛАВКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕМЕХА.

Семен Сергеевич Кремлев<sup>(1)</sup>, Сергей Вадимович Гуркин<sup>(2)</sup>,

Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, аспирант<sup>(2)</sup>,

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.В. Коберник,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время ведутся работы, где для повышения износостойкости покрытий, работающих в гидроабразивной среде, применяются материалы на никелевой основе. В работе показано преимущество применения плазменно-порошковой наплавки для рабочих поверхностей сельскохозяйственных лемехов. Одной из основных задач при разработке износостойких покрытий является исследование свариваемости стали 65Г в условиях плазменно-порошковой наплавки. Для определения критических скоростей охлаждения стали 65Г, а также мер по обеспечению отсутствия трещин, были проведены эксперименты по расчету сварочно-термического цикла. Присадочными материалами при плазменно-порошковой наплавке являются порошки на никелевой основе.

Данная работа посвящена изучению технологии изготовления сельскохозяйственных изделий.

### Выводы

1. Для изготовления износостойких покрытий сельскохозяйственных лемехов, целесообразно использовать порошки на никелевой основе.
2. Никелевый порошок равномерно покрывает рабочую поверхность лемеха при использовании технологии автоматической плазменно-порошковой наплавки, при их изготовлении.

3. Рекомендуются следующие режимы наплавки: сварочный ток 100 А, скорость наплавки 12 м/ч, расход транспортирующего газа 2 л/мин, расход защитного газа 16 л/мин, расход порошка 80 г/мин.

### **Литература**

1. *Гладкий П.В.* и др. Плазменная наплавка. Киев: Екотехнология, 2007, 292с.
2. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / *А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин*; Под ред. *В.М. Неровного*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. -752 с.: ил.
3. Оборудование и технологии сварки металлов плавлением и давлением: Учебное пособие / Под ред. *Г.Г. Чернышова и Д.М. Шашина*. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 464 с.: ил.

### **УДК 621.791.7**

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО СВАРНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ**

Егор Алексеевич Кругляк

*Студент 2 курса, специалитет  
кафедры «Технологии сварки и диагностики»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Работа над курсовым проектом по сварным конструкциям является значимым этапом подготовки инженера-сварщика. Одним из способов повышения качества данной работы является внедрение в процесс специально разработанного программного обеспечения: студент, работающий над проектом, получает удобную систему проверки вычислений и визуализацию работы проектируемого мостового крана, а преподаватель-консультант освобождается от большого объема рутинной проверочной работы.

Обе программы имеют максимально простой и интуитивно понятный интерфейс. Навигация между разделами осуществляется через единое меню. Каждому разделу соответствует определённая функция.

Для студенческой программы («КРАН») это:

- окно «Кран»: наглядное представление работы объекта проектирования в виде его трёхмерной модели, воспроизводящей основные движения крана;
- «Ферма»: визуализация поведения фермы крана под нагрузкой;
- «Размеры»: представление схемы разрабатываемой конструкции с указанием на ней заданных размеров;
- «Усилия»: проверка результатов расчёта усилий в стержнях;
- «Сечения»: проверка подбора сечений стержней;
- «Сортамент», «СНиП»: предоставление справочных материалов (базы профилей проката и формул для расчетов из нормативных документов).



Программа для консультанта («КОНС») состоит из следующих разделов:

- «Выдача задания». Данная подпрограмма позволяет ввести список студентов и генерирует для каждого индивидуальный вариант задания в виде готового к печати файла в формате .txt.

- «Проверка усилий», «Проверка сечений». По выбранной из списка фамилии студента рассчитывает и выводит на экран усилия в стержнях фермы и требуемый из расчетов размер сечения.

- «Сортамент», «СНиП»: справочные разделы, аналогичные реализованным в программе «КРАН».

Дальнейшее развитие данного программного продукта включает улучшение графической составляющей, оптимизацию интерфейса, пополнение базы справочных данных, защиту программы «КОНС» от несанкционированного доступа.

### **Литература**

1. *Николаев Г.А., Винокуров В.А.* Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Под ред. Г.А.Николаева. М.: Высшая школа, 1990. 446 с.

### **УДК 620.179.1**

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЛСТОСТЕННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Максим Владимирович Кузнецов

*Студент 6 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Долговечность - одна из основных характеристик технологического трубопровода. Наиболее часто применяемые, металлические трубы подвержены коррозии, а также пагубному влиянию внешних факторов, таких как экстремальные температуры, повышенная влажность и случайные физические воздействия, что резко снижает их качество. Наиболее удачным решением было использование труб из полимерных материалов, в том числе полиэтилена, обеспечивающего устойчивость ко многим внешним факторам. В целях продления срока эксплуатации полиэтиленового трубопровода целесообразно ввести текущий контроль состояния. Лучшим решением на данный момент является радиационный метод, но в целях уменьшения себестоимости работ и исключения вредоносного излучения предлагается разработать или подобрать метод ультразвукового контроля.

В качестве используемого метода ультразвукового контроля было решено использовать TOFD-метод (time-of-flight diffraction). Контроль проводился на стандартных образцах. Настройка ультразвукового дефектоскопа проводилась по предельной чувствительности.

В ходе проделанной работы были просканированы стандартные образцы из полиэтилена, имитирующие различные диаметры труб, и составлена технология контроля толстостенных полиэтиленовых труб.

## Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8т./ Под общ. ред. *В.В.Клюева*. Т. 3. *И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге*. Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр.– М.: Машиностроение, 2006. 864 с.
2. Реконструкция и классификация дефектов по ФАР. Оценка материалов: *Гебхардт, В., Ф. Бониц и Х. Волл.*, т. 40, вып. 1 (1982):
3. Ультразвуковой контроль материалов: *Крауткрамер, Дж. И Х. Крауткрамер.*, 4-ое издание, Берлин; Нью-Йорк: Springer-Verlag, 1990. -493с

## УДК 621.791

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ СТЫКА ПРИ СВАРКЕ

Антон Михайлович Лебедев

*Студент 6 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Перковский Роман Анатольевич*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Одно из важнейших условий получения качественного сварного соединения – строгое соответствие траектории сварочного инструмента. Однако в процессе сборки и сварки изделий возникают погрешности положения сварочного инструмента относительно стыка, что может привести к неудовлетворительным результатам сварки. [1]. Эту проблему можно решить с помощью методов и средств автоматического слежения.

Существует множество видов систем слежения, включая

- механическую
- электромагнитную
- оптическую
- дуговую
- прочие

Основной элемент такой системы – датчик положения стыка, на основании информации от которого возможно скорректировать положение инструмента в процессе сварки. Электромагнитные датчики долговечны, компактны, могут применяться для всех пространственных положений, а также не требуют контакта с поверхностью свариваемого изделия. В связи с этим они являются актуальным объектом исследования.

Электромагнитный датчик состоит из Ш-образной магнитной системы и трёх обмоток (рис.1). Питающая обмотка 3, находящаяся на среднем стержне, питается от источника тока повышенной частоты. Переменное магнитное поле, создаваемое обмоткой, наводит в свариваемом изделии вихревые токи. Непроводящий зазор между деталями разделяет вихревые токи на два контура. Результирующее магнитное поле датчика создаётся не только током, протекающим в питающей обмотке, но и вихревыми токами.

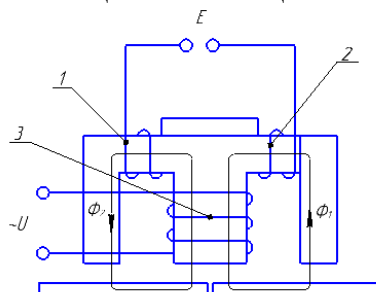


Рис. 1. Схема электромагнитного датчика

При симметричном относительно датчика расположении зазора, контуры вихревых токов равны, симметричны, и силы тока в них равны. Соответственно, равны магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  и наводимые ими ЭДС в индикаторных обмотках 1 и 2. При встречном включении ЭДС этих обмоток компенсируются, и сигнал на выходе датчика равен нулю. [2].

В процессе работы были подобраны параметры датчика – материал и размеры сердечника, число витков обмоток, частота питающего напряжения.

Собранный датчик был протестирован на испытательном стенде, включающем в себя:

- микрометрический столик
- генератор высокой частоты
- осциллограф
- крепёжные детали

В результате серии экспериментов были получены зависимости амплитуды выходного сигнала  $E$  от величины смещения кромок  $\Delta x$  (рис.2.)

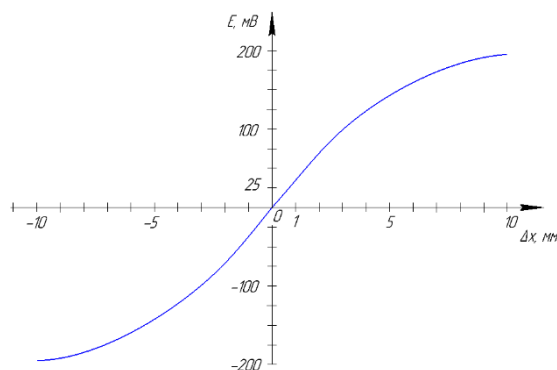


Рис.2. Зависимость амплитуды выходного сигнала от величины смещения кромок

Также был предложен вариант схемы управления слежением за стыком, разработана оснастка, позволяющая применять спроектированный датчик в производстве.

### **Литература**

1. *А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин.* Теория сварочных процессов / под. ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
2. *Э.А. Гладков, О.Н. Киселёв, Р.А. Перковский, Г.П. Трегубов* Системы ориентации сварочного инструмента на линию стыка при дуговой сварке: учебное пособие. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 132с.: ил.

**УДК 621.791.754**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ**

Рушан Хайдерович Летфуллин,

*Студент 6 курса, специалитет*

*кафедра «Технология сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.С. Михеев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Основной задачей сварочного производства является повышение производительности и качества труда. Однако повышение производительности труда в этом случае за счет интенсификации процесса в настоящее время встречает значительные технологические трудности, так как увеличение тока, диаметра электрода и скорости сварки выше определенного предела приводит к ухудшению качества сварного соединения. В этом случае проблему решает применение дополнительной присадочной проволоки.

Цель данной работы- исследовать влияние применения холодной присадочной проволоки на формирование сварного соединения и его свойства при сварке в среде защитных газов.

Метод сварки с дополнительной холодной присадочной проволокой характеризуется меньшим удельным тепловложением, по сравнению с обычными методами сварки, что приводит к улучшению термического цикла сварки. В результате улучшаются структура металла сварного соединения, условия кристаллизации и, в итоге, улучшаются механические свойства. Механические свойства зависят от химического состава и структуры металла. Химический состав металла шва можно регулировать путем изменения химического состава присадочного металла и изменения доли основного металла.

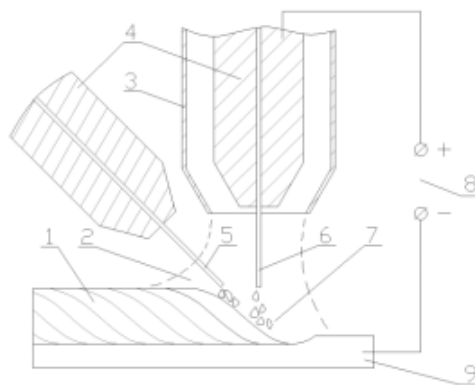


Рис. 1- Схема процесса сварки в защитных газах с дополнительной подачей присадочной проволоки

В качестве основной проволоки применялась порошковая проволока с нитридом титана диаметром (TiN) 1.4мм. В качестве присадочной проволоки применялась проволока с содержанием карбида вольфрама диаметром 2мм. Материал образцов-Ст3сп.

В результате проведенных экспериментов по сварке с применением дополнительной холодной присадки было получено качественное формирование сварного соединения. При этом производительность процесса повышается в среднем в 2 раза. Также результаты показали, что величина пропавления при данном процессе минимальна, что благоприятно сказывается для сварки заполняющих слоев и уменьшении зоны термического влияния.

### Литература

1. *Ханапетов М.В.* Сварка конструкций с дополнительной порошкообразной присадкой. – М.: Стройиздат, 1992. – 192 с.
2. *Жилин П.Л., Конищев Б.П., Лебедев С.А.* Исследование увеличения производительности и качества процесса сварки в CO<sub>2</sub> с дополнительной холодной присадкой // Сварка и диагностика. 2015.№4. С. 42-44.

УДК 621.791.753.5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРИСАДКИ В ВИДЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ, НА СТРУКТУРУ И УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ МЕТАЛЛА ШВА.

Мироханиён Ёсин Ёкути,

Студент 6 курса,

кафедра «Технология сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Коберник Н.В.,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время возрастают темпы строительства опасных производственных объектов, таких как магистральные трубопроводы, сосуды для хранения нефти и газа,

мосты и др. Материалом для строительства таких объектов являются низколегированные низкоуглеродистые стали. Благодаря высоким качествам, стабильностью свойств сварного соединения и низким затратам сварочных материалов (по сравнению с ручной дуговой сваркой), основная часть сварных соединений таких конструкций выполняется при помощи автоматизированной сварки под слоем флюса. Согласно отраслевым документам к сварным соединениям, к опасным производственным объектам предъявляются повышенные требования к ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах.

Важной составляющей при повышении механических свойств сварного соединения является модифицирование металла шва и наплавленного металла наноразмерными частицами. Исследования в этой области показывают увеличение пластических свойств металла шва и измельчение зерна, за счет резкого увеличения количества готовых центров кристаллизации в расплавленном металле. Стоит отметить, что модифицирование частицами, вводимыми извне, стало возможным лишь в последние несколько лет, с появлением на рынке тугоплавких наноразмерных частиц.

Исходя из вышеперечисленного предлагается использование порошковой проволоки, содержащей наноразмерные частицы. Для исключения влияния сварочной дуги, проволоку необходимо подавать в низкотемпературную зону сварочной ванны в качестве дополнительной присадки. Для решения такой задачи подходит способ сварки под флюсом с дополнительной горячей присадкой (ДГП) в виде порошковой проволоки, содержащей наноразмерные частицы.

Для проведения исследования использовались порошковые проволоки диаметром 2мм с содержанием карбида вольфрама (WC), нитрида титана (TiN), оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и карбида титана (TiC) в количестве 2,5 масс. %.

В результате проведенных экспериментов по сварке с ДГП в виде порошковой проволоки, содержащей наноразмерные частицы, было выявлено, что введение наноразмерных частиц повышает ударную вязкость металла шва. Наибольшую ударную вязкость мы получили в сварном соединении, содержащем карбид титана (TiC).

### **Литература**

2. *Ханапетов М.В.* Сварка конструкций с дополнительной порошкообразной присадкой. – М.: Стройиздат, 1992. – 192 с.
3. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов [и др.]; Под ред. В.М. Неровного. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

### **УДК 621.791**

## **РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ**

Александра Владимировна Нифонтова

*Студент 5 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Коновалов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

При работе устройств с высоким индуктивным сопротивлением потребляется как активная, так и реактивная электрическая мощность. Активная мощность преобразуется в

полезную работу, в то время как реактивная мощность расходуется на создание электромагнитных полей, что приводит к повышению потерь в подводящих сетях и приемниках и увеличению перекоса фазных напряжений. Параметром, определяющим потребление реактивной мощности, является коэффициент мощности или  $\cos \phi$ .

Эксплуатация мощных сварочных трансформаторов приводит к существенному увеличению сдвига по фазе между напряжением и током, что ведет к уменьшению коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ). С уменьшением  $\cos \phi$  ток нагрузки, потребляемый из сети, будет увеличиваться при одной и той же активной мощности.

Для повышения эффективности использования электрической энергии с целью минимизации потерь большая роль отводится новым техническим средствам, позволяющим улучшить энергетические характеристики: повысить  $\cos \phi$  и уменьшить перекося фазных напряжений сети.

Для достижения поставленной цели в машинах для контактной сварки необходимо разработать преобразователь трехфазной сети для питания машин мощностью 1000 кВА, который будет обеспечивать преобразование трехфазной сети в однофазную с возможностью изменения выходного напряжения.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов/ А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред В.М. Неровного. М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.: ил.
2. Сварка. Резка. Контроль.: Справочник. В 2-х т. / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004.- Т.1.- 624 с., Т.2.- 480 с.

### УДК 621.791.7

### ПРОГРАММА ДЛЯ ПОДБОРА СЕЧЕНИЙ МОСТОВОГО КРАНА

Александр Ильич Плискунов

*Студент 4 курса, специалитет  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Выполнение курсового проекта по сварным конструкциям - важный этап подготовки инженеров-сварщиков. Разработка программного обеспечения для студентов и преподавателей позволяет повысить качество преподавания этой сложной дисциплины. Студент – автор проекта получает справочную систему, позволяющую в домашних условиях находить информацию, необходимую для проектирования, а также проверять правильность проделанных расчетов. Преподаватель – консультант проекта освобождается от рутинной проверочной работы, это позволяет ему включать в процесс проектирования больше творческих оригинальных элементов.

При проектировании мостового крана используются стандартные профили проката из нескольких ГОСТов и ТУ. Для выбранных сечений необходимо провести проверки на статическую прочность, усталость и выносливость. На первом этапе проектирования проводят расчёт усилий, а на втором происходит подбор сечений, который и производит данная программа. Ее основные функции:

- быстрое получение информации о правильности выбранного сечения;
- возможность определить какую из проверок не прошло выбранное сечение (на статическую прочность, усталость или выносливость);
- возможность указать к какой группе по СНиП II-23-81 относится проверяемое сечение;
- проверка выбранного сечения для различных видов стержней фермы мостового крана: раскосы, пояса, стойки;

Программа «Сечение» является составной частью двух программ «КРАН» и «КОНС», предназначенных, соответственно, для автора и консультанта курсового проекта по сварным конструкциям. Для студента программа выполняет проверочный расчёт, а для преподавателя уже проектный. Она появляется на экране при выборе в меню пункта «Сечения» и содержит таблицу для ввода параметров сечения, окна выбора типа сечения, номера группы, СНиП II-23-81, вид стержней фермы мостового крана и номер этого стержня.

Преподаватель при использовании программы указывает вид стержня, его номер, длину, значение силы в стержне, после чего получает параметры подходящего сечения и все промежуточные результаты (например, напряжения). Наличие этой информации у студента является нежелательным, поэтому в исходных данных студент должен указать ещё вид и размеры проверяемого сечения, а также результаты промежуточных расчётов (это позволяет избежать «перебора» сечений учащимся). В результате, программа сообщает проходит ли сечение проверку и можно ли подобрать более маленькое сечение.

#### УДК 539.214

### **О СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ДЮРАЛЬ**

Максим Вадимович Подрез<sup>(1)</sup>, Анастасия Валерьевна Зайцева<sup>(2)</sup>

*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, студент 3 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.Ф. Якушин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Сплав системы Al-Cu-Mg (дюраль) – Д16, Д9, 1151 плохо свариваются дуговой сваркой из-за горячих трещин (ГТ). Для этих сплавов весьма перспективна сварка без расплавления – сварка трением с перемешиванием (далее СТП) на массивной подкладке. Однако для СТП необходима высокая пластичность, которая не имеет места после закалки и старения, т.е. термообработки на жаропрочность.

На кафедре МТ-7 исследуется возможность возврата сплавов в незакаленное состояние непосредственно в процессе нагрева трением. Получены хорошие результаты при замедленной сварке толщин до 3 мм., если усилие на металл достигает 20-30кН (рис.1)



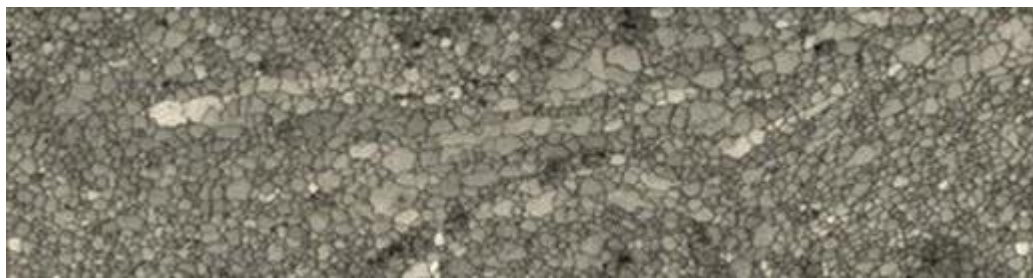


Рис.1 Микроструктура при СТП

Для ускорения сварки тонколистовых сосудов давления предложен процесс СТП с подогревом в процессе сварки (рис.2), при котором увеличивается глубина провара и снижение сварочного усилия.

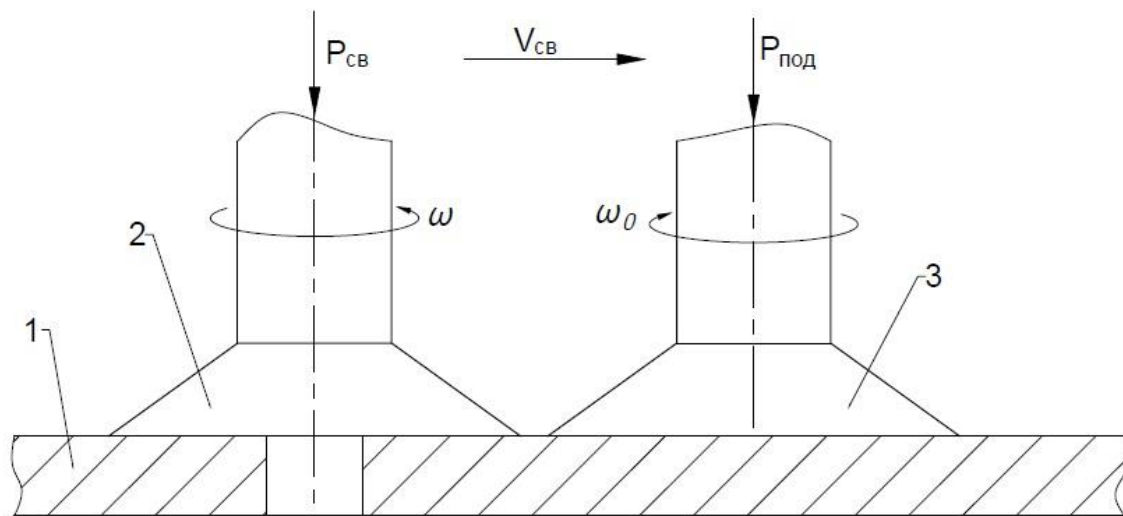


Рис.2 Схема процесса СТП с подогревом

1 – изделие

2 – рабочий инструмент со стержнем

3 – подогревающий инструмент

Это позволяет сваривать изделия типа сосудов давления, когда сварочное усилие поддерживается шпангоутом, включая замыкания шва. Предложена новая конструкция сварочной головки, осуществляющей подогрев и сварку в едином процессе с высокой скоростью.

Прочность и твердость полученных швов находятся на уровне основного металла в термоупрочненном состоянии.

### Литература

1. Вилль В. И. Сварка металлов трением / В. И. Вилль. – Ленинград: Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Теория сварочных процессов: учебник для вузов / В. М. Неровный [и др.]; под ред. В. М. Неровного. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 702 с.
3. Макаров, Э. Л. Теория свариваемости сталей и сплавов: монография / Э. Л. Макаров, Б. Ф. Якушин; под ред. Э. Л. Макарова. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 488 с.

## **УДК 621.791**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ $K_I$ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Ирина Сергеевна Рыкова

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.П. Выборнов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В работе показано, что имеющиеся в сварных швах сосудов, работающих под давлением, допустимые несплошности (одиночные поры и цепочки пор) можно при диагностировании представлять трещинами, чтобы корректно использовать механику разрушения. Такие трещины назвали эквивалентными. Длина эквивалентной трещины такова, что граница зоны пластичности на конце этой трещины совпадает с границей зоны пластически деформированного металла рядом с порой. Сама пора рассматривается как сферический концентратор напряжения с теоретическим коэффициентом концентрации, равным 3.

Определены максимально допустимые размеры эквивалентных трещин в сварных швах сосудов различной толщины в соответствии с действующими стандартами качества. Предложен также подход, позволяющий заменять и цепочки пор на эквивалентные трещины.

Получена зависимость допустимых значений коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  в зависимости от толщины сосуда, изготовленного из низколегированной стали 09Г2С. За расчётные напряжения принимали допускаемые напряжения в соответствии с нормами проектирования сосуда.

Показана возможность применения линейной механики разрушения для продления срока службы сосуда по результатам его обследования.

#### **Литература**

1. *Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А.* Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
2. *Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф.* Теория свариваемости сталей и сплавов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. 487 с.

## **УДК 621.791**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАПЛАВКЕ ВЕНЦА ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА**

Александр Константинович Савичев

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Одной из основных деталей ходовой части гусеничных машин является венец ведущего колеса. Задача венца ведущего колеса заключается в приведении в движение гусениц машины.

Венец ведущего колеса изготавливается из конструкционной легированной стали марки 35ХГСА, поверхности зубьев с двух сторон и пятнадцатигранника наплавляются порошковой наплавочной проволокой с целью повышения стойкости изделия к абразивному износу. Масса изделия составляет 45 кг, масса наплавленного металла составляет 5 кг (11% от массы изделия).

В связи с достаточно большой массой наплавленного металла, следовательно, высоким тепловложением, в изделии после выполнения наплавки возникают деформации [2]. С целью уменьшения деформаций изделия необходимо подобрать режим наплавки с минимальным тепловложением в изделие, при этом обеспечивающий высокие качество наплавки и производительность процесса.

Данную проблему можно решить как путем проведения экспериментального подбора оптимального режима наплавки, так и путем моделирования тепловых процессов при наплавке методом конечных элементов. Проведение компьютерного моделирования предпочтительнее, так как позволяет выбрать оптимальный режим наплавки с меньшими затратами времени и денежных средств: отсутствуют затраты на изготовление изделий или образцов и приобретение наплавочных материалов для проведения экспериментов [1].

В результате моделирования тепловых процессов методом конечных элементов при наплавке венца ведущего колеса при различных параметрах режима наплавки, выбран оптимальный режим наплавки, обеспечивающий минимальные деформации изделия. Моделирование проводилось в программном комплексе «Сварка», разработанном в МГТУ им. Н.Э. Баумана [3].

### **Литература**

1. *Куркин С.А., Ховов В.М., Аксенов Ю.Н.* и др. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций / под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 464 с.
2. *Коновалов А.В., Куркин А.С., Макаров Э.Л., Неровный В.М., Якушин Б.Ф.* Теория сварочных процессов / под ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
3. *Куркин А.С., Макаров Э.Л.* Программный комплекс «Сварка» – инструмент для решения практических задач сварочного производства // Сварка и диагностика. 2010. №1. С. 16-24.

УДК 620.186.4

**О КОРРЕЛЯЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ПОВРЕЖДЕННОСТЬЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ**Иван Олегович Синев <sup>(1)</sup>*Студент 2 курса <sup>(1)</sup>,**Кафедра «Экология и промышленная безопасность»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Л.Р. Ботвина,**Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН*

Для оценки состояния конструкционных сталей в процессе эксплуатации применяются различные методы неразрушающего контроля [1, 2]. Используемые методы должны достоверно оценивать накопленные повреждения и остаточный ресурс объекта исследования. С целью повышения их эффективности следует изучить взаимосвязь между параметрами, оцениваемыми методами неразрушающего контроля и поврежденностью образцов при различной деформации.

Целью данной работы является выявление корреляции между реальной поврежденностью исследуемых образцов, оцененной по результатам анализа картин микротрещин, и их физическими свойствами, измеренными с помощью методов неразрушающего контроля.

Испытания проводились на образцах из сталей 20 и X18H10T толщиной 5 мм с концентратором напряжений в виде отверстия диаметром 6 мм (тип IX по ГОСТ 25.502) при статическом растяжении на машине Инстрон 3382 со скоростью деформирования 0,5 мм/мин. Для исследования физических свойств применялись следующие методы: метод акустической эмиссии (АЭ), магнитной памяти металла (МПМ), коэрцитивной силы (КС), вихрековый метод (ВТ) и ультразвуковой метод (УЗ).

Изменение характеристик неразрушающего контроля в процессе растяжения были представлены ранее в работах [3, 4]. Зависимости оцененных параметров строились в функции относительной деформации  $\epsilon^*$ , равной отношению текущей деформации к деформации разрушения.

По результатам анализа полученных на микроскопе Olympus GX41 картин поврежденности образцов были построены зависимости от относительной деформации концентрационного критерия  $k$  (характеризующего среднее расстояние между микротрещинами) и занимаемой микротрещинами площади  $S^*$ .

При испытании образцов из сталей 20 и X18H10T была обнаружена зависимость между коэффициентом затухания УЗ волн, оцененным с помощью дефектоскопа Rapametrics EPOCH 4 датчиками разной частоты и поврежденностью: с увеличением поврежденности коэффициент затухания увеличивался.

Стоит отметить, что при малой поврежденности в образце из стали X18H10T коэффициент затухания возрастал с увеличением частоты, тогда как при высокой он достигал пика при 15 МГц, после чего снижался (рис.1). Это, вероятно, связано с фазовым превращением в аустенитной стали при деформации [5]. Предположение подтверждается обнаруженными характерными  $\alpha$ -фазе дефектами.

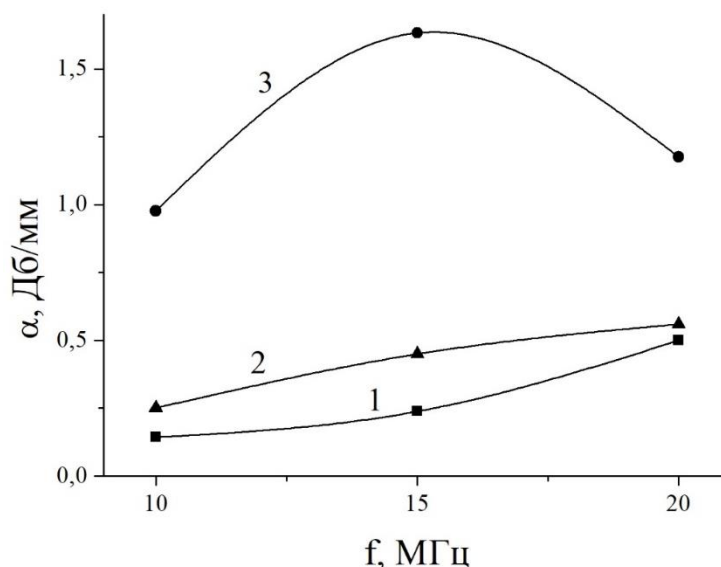


Рис.1 Зависимость коэффициента затухания УЗ волн от частоты для стали X18H10T в недеформированном состоянии (1); при относительной деформации, равной 0,72 (2); 0,95 (3)

По результатам работы был установлен ряд зависимостей между параметрами неразрушающего контроля и поврежденностью исследуемых образцов, показано изменение свойств при статическом деформировании и сделаны выводы о корреляции этих изменений со структурой исследуемых сталей.

## Литература

1. Горкунов Э. С., Задворкин С. М., Димитров Р. Применение магнитных методов для обнаружения зон локализации пластической деформации в конструкционных сталях //Контроль. Диагностика. – 2017. – №. 1. – С. 12-15.
2. Рябов А. А., Кузеев И. Р. Применение вихретокового неразрушающего контроля для оценки уровня накопленных пластических деформаций на примере стали 20 //Нефтегазовое дело. – 2017. – Т. 15. – №. 1. – С. 186-191.
3. М.Р. Тютин, Л.Р. Ботвина, В.П. Левин, А.Г. Ефимов, Кузелев Н.Р. Исследование механических свойств конструкционных сталей акустическими и магнитными методами // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017;83(7):44-48
4. М.Р. Тютин, Л.Р. Ботвина, И.О. Синев Об изменении физических свойств и поврежденности мало- и среднеуглеродистых сталей в процессе растяжения // Металлы, 2018 (в печати)
5. Л.Р. Ботвина Кинетика разрушения конструкционных материалов. – М.: Наука, 1989.

## УДК

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ ВОЛНАМИ ИЗДЕЛИЙ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ.**

Василий Дмитриевич Соколов

Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики» Московский государственный технический  
университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: М.В. Григорьев,  
кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время большое внимание уделяется технологиям аддитивного производства. Однако повсеместного применения в промышленности они еще не нашли. Возникают сложности на разных этапах производства. Одна из таких сложностей – отсутствие технологий контроля изделий. В таких деталях встречаются дефекты характерные только для аддитивного производства. Один из таких дефектов – пористость. Она измеряется Объемной долей пор. Это доля объема пор в общем объеме пористого тела:  $P = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) * 100$  где  $\rho_0$  – плотность материала без пор.

В данной работе рассмотрено изменение физических величин от изменения пористости материала.

В результате экспериментов получена линейная зависимость скорости продольных ультразвуков волн ( $C_l$ ) от величины пористости. (рис 1)

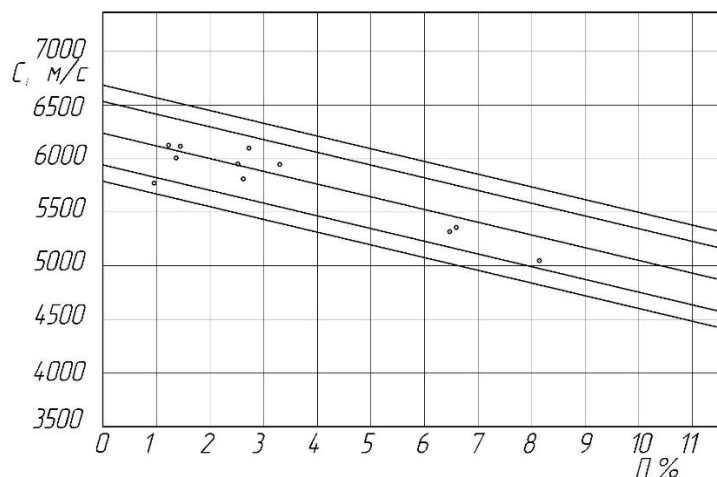


Рис.1. Изменение скорости продольных ультразвуковых волн от пористости материала  
Теоретически известно, что продольная скорость ультразвука зависит от модуля упругости первого рода ( $E$ ) и плотности.  $C_l = \sqrt{\frac{E(1+\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \cong \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ , откуда  $E = C_l^2 \rho$ , следовательно имеет место зависимость модуля упругости первого рода от пористости. (рис.2)

Также в эксперименте было определено коэффициент затухания ультразвука  $\delta$  из уравнения акустического тракта для отражения от плоской донной поверхности

$\frac{A}{A_0} = \frac{S_a}{2\lambda r} e^{-2\delta r}$ , где  $\lambda = \frac{c_l}{f}$  длина волны,  $f$  – частота преобразователя,  $S_a$  – площадь преобразователя,  $r$  – путь ультразвуковой волны. (Рис.3)

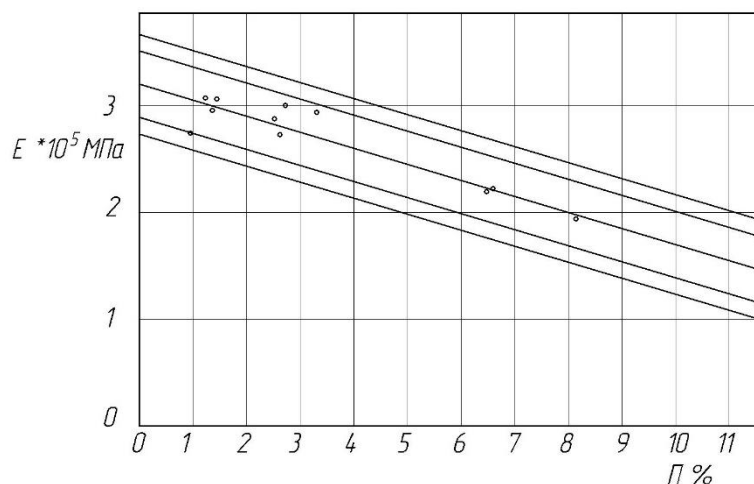


Рис.2. Изменение модуля упругости первого рода от пористости материала

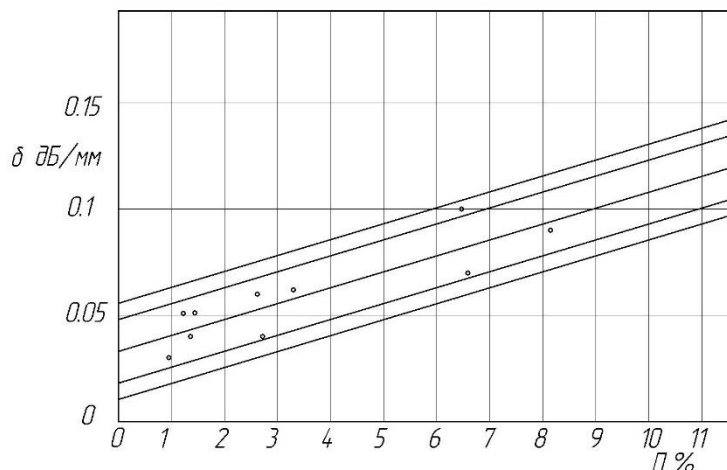


Рис.2. Изменение коэффициента затухания от пористости материала

Результаты работы:

- 1) Для измерения пористости наиболее подходит измерение скорости УЗ волн
- 2) В результате статистической обработки получена линейная зависимость продольной волны от пористости материала с коэффициентом корреляции 0.9. В результате чего можно сделать заключение, что контроль пористости изделия возможен по измерению скорости ультразвуковой волны.
- 3) При нулевой пористости скорость составляет 6200м/с, а при 8% пористости 5000м/с. Поэтому, установив критическое значение для скорости УЗ волны, можно контролировать изделие на пористость. Это невозможно сделать классическими методами, ввиду того что размер пор значительно меньше длины волны в материале и УЗ волна огибает поры.
- 4) Наличие пор повышает коэффициент затухания, ввиду дифракции УЗ волн.

### Литература:

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах/ 2-е изд., перераб. и доп.-М: Издательство «Наука», 1973.-343 с.
2. *Алёшин Н.П.* Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. 2-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение, 2013. -576 с.: ил.
3. Методы акустического контроля металлов / *Н.П. Алёшин, В.Е. Белый, А.Х. Вопилкин* и др.: Под ред. *Н.П. Алёшина*. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
4. *Скучик Е.* Основы акустики. — М.: Мир, 1976. — Т. 1.- 451с.
5. *Кретов Е.Ф.* Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении /2-е изд., перераб. и доп.- СПб: Издательство "СВЕН", 2007.-296 с.

УДК 621.791.927.5

## ВЛИЯНИЕ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В СОСТАВЕ ЗАЩИТНОЙ СМЕСИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВКИ

Сергей Павлович Сорокин

*Магистр 2 года*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В. Коберник,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Изделия машиностроения в процессе эксплуатации часто подвержены абразивному и гидроабразивному изнашиванию. Это требует непрерывного совершенствования технологий изготовления и восстановления поверхностей деталей машин и механизмов. Согласно исследованиям ряда авторов [1-3], технологии дуговой наплавки для восстановления наиболее эффективны как с экономической, так и с производственной точек зрения.

В современных технологиях ручной дуговой наплавки в большей степени применяются порошковые проволоки с защитными покрытиями. В работах [4; 5] показана эффективность применения порошковых проволок со сложной схемой легирования для восстановления транспортирующих шнеков, работающих в условиях гидроабразивного износа. При наплавке порошковыми проволоками в структуре наплавленного металла формируются интерметаллидные и карбоборидные фазы, что приводит к значительному повышению износостойкости.

В данной работе ставилась задача установить влияние состава смеси защитного газа на структуру и эксплуатационные характеристики наплавленных покрытий, стойких к абразивному изнашиванию.

Были проведены экспериментальные исследования на образцах из стали Ст3, которые наплавливались с использованием порошковой проволоки DO\*390N, с режимами: сила тока  $I = 240$  А, напряжения на дуге  $U = 30$  В, скорость сварки  $V = 21$  м/ч. Влияние состава защитного газа на свойства и структуру наплавленного слоя устанавливали, применяя при наплавке различные сочетания защитного газа с помощью смесителя ВМ-2М WITT. Гидроабразивный износ воспроизводили с помощью специально разработанной установки. Износостойкость образцов оценивалась потерей массы  $\Delta m$  при взвешивании образцов с точностью  $\pm 0,5 \times 10^{-3}$  г.



Из работы [5] известно, что износостойкость определяется количеством и размером карбоборидных фаз, выпадающих в виде игольчатых дендритов (Рис.1).

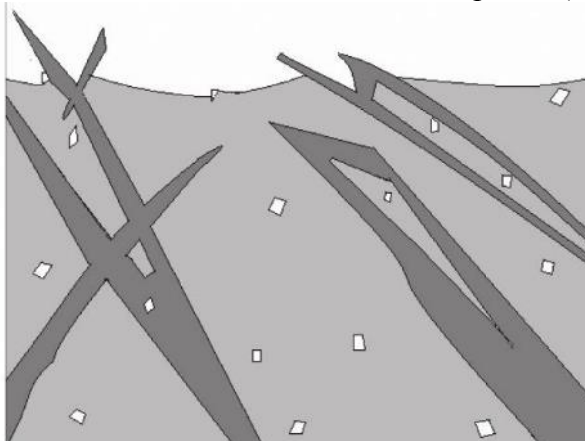


Рис. 1. Схема выпадения игольчатых дендритов

Было установлено, что содержание углекислого газа в составе защитной смеси определяет глубину проплавления и долю участия основного металла. Это значит, что может происходить не только окисление легирующих элементов активным газом, а также и разбавление наплавленного металла основным.

Состав защитного газа оказывает существенное влияние на размер и концентрацию карбоборидной фазы. С введением в состав защитного газа небольшого количества  $\text{CO}_2$  (до 5%) наблюдается увеличение ширины и концентрации данной фазы, при дальнейшем увеличении количества углекислого газа приводит к снижению её ширины. Максимальная ширина составляет 5 мкм и наблюдается в верхней части наплавленного валика при использовании смеси в состав, которой введено 2%  $\text{CO}_2$ . Максимальная концентрация карбоборидной фазы наблюдается также в верхней части наплавленного валика и составляет около 8%, что происходит при использовании смеси в состав, которой введено 5%  $\text{CO}_2$ . Следует отметить, что уменьшение карбоборидной фазы коррелируются с ростом участия основного металла. Так, максимальная доля участия основного металла наблюдается при использовании смеси газа 75% Ar + 25%  $\text{CO}_2$ , при этом карбоборидная фаза полностью отсутствует в наплавленном металле. Таким образом, увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в составе защитного газа прежде всего приводит к разбавлению наплавленного металла основным, что приводит к снижению количества легирующих элементов.

В результате проведенной работы можно сделать вывод, что оптимальным процентным содержанием  $\text{CO}_2$  в составе защитной смеси является значение, не превышающее 5%.

### Литература

1. Чернышов Г.Г., Коберник Н.В., Орлик А.Г., Чернышова Т.А. Влияние структуры наплавленных покрытий на стойкость к абразивному износу // Физика и химия обработки материалов. 2011. № 5. С. 44-50.
2. Калмыков В.В., Попов Д.В. Прогнозирование износа режущего инструмента методом акустической эмиссии // В книге: Тезисы докладов 1-й Российской конференции молодых ученых по математическому моделированию 2000. С. 181-182.
3. Шаталов В.К. Наплавка на титановые сплавы прутками с оксидным покрытием // Электромагнитные волны и электронные системы. 2017. Т. 22. № 2. С. 18-22.
4. Орлик А.Г. Разработка технологии механизированной дуговой наплавки покрытия с заданным комплексом свойств, стойкого к гидроабразивному износу //

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2012. 133 с.

5. *Чернышов Г.Г., Коберник Н.В., Орлик Г.В., Орлик А.Г.* Влияние технологии дуговой наплавки на структуру и стойкость покрытий на основе железа против гидроабразивного износа // Сварка и диагностика. 2012. № 3. С. 23-29.

**УДК 621.791**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ УКЛАДКИ ШВОВ ПРИ СВАРКЕ ТРАКА ГУСЕНИЧНОЙ ЦЕПИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Дмитрий Юрьевич Титов

*Студент 6 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Сергей Анатольевич Королев*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Современный уровень производства подразумевает использование передовых технологий и методик, как при проектировании изделия, так и при разработке технологии его изготовления. Опыт ведущих зарубежных фирм показывает, что многими своими успехами они обязаны развитию и реализации принципа, когда широкое применение компьютеров охватывает проектирование изделий, деталей и технологических процессов [1].

Проведение натурных экспериментов при разработке технологии сварки таких изделий, как траки гусеничных машин, изготовленных из сложных дорогих материалов не всегда целесообразно. Использование компьютерного моделирования позволяет провести необходимые исследования гораздо более оперативно, дешевле и эффективнее.

При сварке происходит изменение формы и размеров свариваемых деталей в результате их неравномерного расширения при нагреве [2]. Перекос гребня относительно подошвы может привести к повышенному износу поверхности контакта гребня и направляющих и привести к преждевременному выходу трака из строя. Поэтому величина допускаемого отклонения задается конструкторской документацией на изделие.

По результатам расчета с использованием метода конечных элементов в программном комплексе СВАРКА, разработанном в МГТУ им Н.Э. Баумана [3], была получена термомодеформационная картина в изделии при сварке. Произведен расчет остаточных перемещений вершины гребня в зависимости от последовательности наложения швов. Выбрана наиболее оптимальная последовательность наложения швов, при которой остаточные перемещения вершины гребня лежат в пределах допускаемых значений конструкторской документации на изделие.

### **Литература**

- 1) *С.А. Куркин, В.М. Ховов, Ю.Н. Аксенов и др.* Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций / под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 464 с.

- 2) *А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин. Теория сварочных процессов / под. ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.*

**УДК 621.791**

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БАББИТОВОЙ НАПЛАВКИ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ**

Андрей Олегович Чернышов

*Студент 6 курса*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный*

*руководитель:*

*А.Л.*

*Ремизов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Широкая область применения подшипников скольжения: валы с ударными и вибрационными нагрузками, валы больших диаметров, высокоскоростные валы, определена следующими показателями: сохранение работоспособности при высоких скоростях вала, выдерживание больших радиальных нагрузок. Для обеспечения низкого коэффициента трения в паре со стальным валом в подшипниках скольжения применяются антифрикционные материалы. К ним предъявляются следующие требования: хорошая прирабатываемость, способность удерживать масляную пленку, хороший отвод тепла, достаточная механическая прочность. Баббиты не обладают последним свойством, однако их наплавляют на стальной, бронзовый вкладыш, что и решает эту проблему. Ввиду чего, было принято решение произвести ультразвуковой контроль данного типа наплавки.

Неразрушающие ультразвуковые испытания соединения слоя подшипникового материала и основы, были приведены на основании методики изложенной в ГОСТ Р ИСО 4386-1-94 для прямых раздельно-совмещённых пьезоэлектрических преобразователей. Из партии образцов был проведён выбор наиболее дефектных для проведения последующих измерений. Контроль производился как со стороны основного металла, так и со стороны наплавки через однородный слой связующего масла. Диапазон развертки устанавливался таким, чтобы от контролируемой поверхности соединения антифрикционного слоя и основы образца могли быть получены, по крайней мере, два эхо-сигнала. Настройка ультразвукового дефектоскопа осуществлялась по предельной чувствительности.

В результате были получены диапазоны значений амплитуд донного сигнала и сигнала от переходного слоя. Полученные значения собирались в серии, для которых были рассчитаны дисперсии, среднеквадратические отклонения, проведена проверка брака опытов.

В итоге проведенной работы были подобраны параметры ультразвукового контроля баббитовой наплавки подшипника скольжения.

### **Литература**

1. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 8т./ Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 3. И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. - 2-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 2006. -864 с.: ил.*
2. *Б.А. Потехин, А.Н. Глуценко, В.В. Илюшин. Свойства баббита Б88. Технология металлов. Литейное производство. №3. 2006г.*

3. ГОСТ 1320-74. Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия. - Взамен ГОСТ 1320-55; Введ. С 01.01.1975 по 18.10.2016; Москва: Издательство стандартов, 2001. - 9 с.
4. ГОСТ Р ИСО 4386-1-94. Подшипники скольжения. Металлические многослойные подшипники скольжения. Неразрушающие ультразвуковые испытания соединения

## УДК

### **ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

Шерстюк Филипп Александрович

*Студент 5 курса*

*кафедра "Технологии сварки и диагностики"*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Дерябин,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В работе представлен анализ влияния понижения температуры на погрешность измерения координат отражателей при проведении ультразвукового контроля. Показано, что при понижении температуры объекта контроля увеличивается погрешность измерения координат отражателей ультразвуковым методом контроля. Так погрешность измерения

координат может достигать 35% от глубины залегания дефекта при угле ввода поперечной волны  $\alpha_i = 65^\circ$  при температуре объекта контроля - 80 град.С.

Так как изменение температуры также влияет на чувствительность ультразвукового контроля (охлаждение до -80 град. С. приводит к уменьшению амплитуды сигнала на 30%, от "зарубки" - к уменьшению амплитуды сигнала на 31%, а от сферического отражателя - к уменьшению амплитуды сигнала на 27%), в работе представлены необходимые зависимости изменения амплитуд принимаемых сигналов от температуры объекта контроля (для различных отражателей и углов ввода волны).

В работе доказано, что для проведения ультразвукового контроля в условиях низких температур возможно использование стандартных существующих настроечных образцов, при условии, что будет произведено изменение параметров контроля прибора (скорости, угла ввода волны, чувствительности) после настройки прибора в нормальных условиях (при температуре +20 град.С) с учетом понижения температуры.

В целом технология корректировки настройки оборудования выглядит следующим образом:

- настройка оборудования в нормальных условиях (без учета понижения температуры объекта контроля);
- изменение значения скорости поперечной волны и угла ввода с учетом понижения температуры (рис.1);

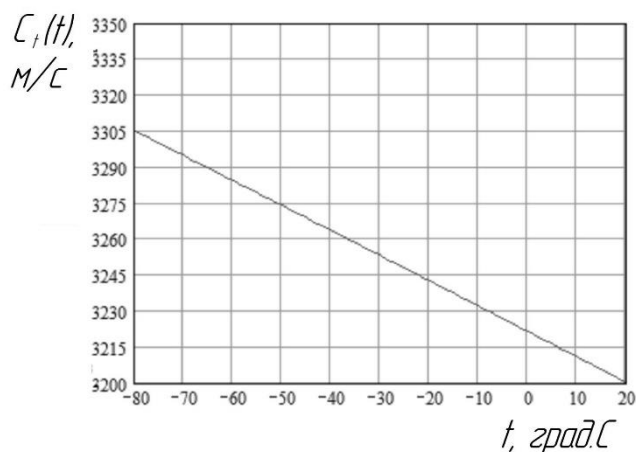


Рис. 1. Зависимость скорости поперечной волны от температуры объекта контроля

- изменение значения браковочного уровня (увеличение значения усиления дефектоскопа) с учетом понижения температуры, согласно зависимостям, представленным на рис. 2 (например, для дискового отражателя).

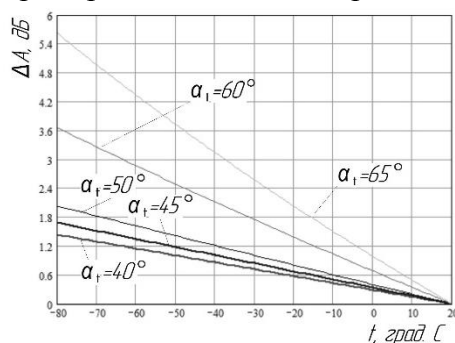


Рис. 2. Изменение амплитуды сигнала от дискового отражателя, расположенного на глубине 10 мм, при углах ввода волны  $\alpha_t = 65^\circ, 60^\circ, 50^\circ, 45^\circ, 40^\circ$ , для частоты 5 МГц

### Литература

1. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. 2-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение, 2013. -576 с.: ил.
2. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.:Машиностроение, 2006. -368 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.: ил.
4. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред.- М.: Наука, 1982. – 335 с.

### **Секция VIII**

#### **Материаловедение в машиностроении**

Председатель:

**Плохих Андрей Иванович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой МТ-8

Ученый секретарь:

**Шевченко Светлана Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-8

УДК 533.583.5

## ВЫБОР СОСТАВА МАТЕРИАЛА НЕРАСПЫЛЯЕМОГО ГЕТТЕРА С ПОВЫШЕННЫМИ СОРБЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Мария Владимировна Александрова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Материаловедения»,*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научные руководитель и консультант:*

*Ю.А. Курганова, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,*

*Ю.В. Николукин, заместитель технического директора АО «НИИ газоразрядных приборов «ПЛАЗМА»*

Газопоглотители или геттеры используют в различных областях техники для откачки, улучшения и поддержания глубокого вакуума. От качества их изготовления зависят эксплуатационные характеристики соответствующих приборов. Что и определяет актуальность выбора материалов для их изготовления.

В качестве материалов газопоглотителей рассматривают металлы, обладающие способностью химически реагировать с кислородом, азотом, водородом.

По принципу действия все геттеры можно условно разделить на 2 группы: нераспыляемые и вспыхивающие (испаряющиеся). Предметом исследования данной работы стали нераспыляемые газопоглотители. При активации они остаются в твердом состоянии, имеют более длительный срок эксплуатации, с легкостью могут быть удалены или заменены на новые.

Особенно широкое распространение получили так называемые пористые газопоглотители на основе титана, циркония, ванадия. Помимо высоких сорбционных свойств, они, обладая пористой структурой, имеют увеличенную площадь прохождения химической реакции между металлом геттера и газом среды.

Выбор состава геттерного сплава базируется на ряде условий, основными из которых выступают конечные эксплуатационные характеристики и общая пористость сплава. Очевидно, что высокопористая структура рационально может быть получена методами порошковой металлургии. В настоящее время получены ряд успешных комбинаций сплавов газопоглотителей: Zr-Al [1], Zr-V-Fe [2], Zr-Mn-Fe, и композиции Zr-V-Ca, Ti-Cr-Ca [3].

Так для получения композиции рационально выбирать химические элементы так, чтобы первый компонент включал хотя бы один элемент из группы Ti, Zr, а второй компонент – из группы V, Al, Mn, Fe, Ni. Далее порошки формуют при усилии 100-5000 МПа и спекают. Согласно данным опытных испытаний, предпочтительное соотношение по массе между компонентами порошкового сплава соответствует от 5:1 до 1:2. При этом степень химической неоднородности определяют, исходя из того, что среднеарифметическое значение соотношений концентраций каждого из элементов первого и второго компонентов в произвольно выбранных нескольких парах точек не должно превышать 30 [4].

На основании проведенного анализа технической литературы и откликов эффективного использования геттеров, в качестве металлов для создания опытного образца нераспыляемого геттера выбраны Ti, Zr, как элементы, обеспечивающие получение повышенных сорбционных свойств конечного продукта, и Al в качестве связующего компонента. При этом в качестве опытных образцов выбраны составы с

соотношением Ti к Zr 7:3, 5:5 и 3:7 по объему соответственно. С целью расчета и оценки необходимого количества связующего алюминия при условии сохранения микропор сплава в программе КОМПАС-3D спроектирована схема упаковки порошинок титана и циркония (рис. 1).

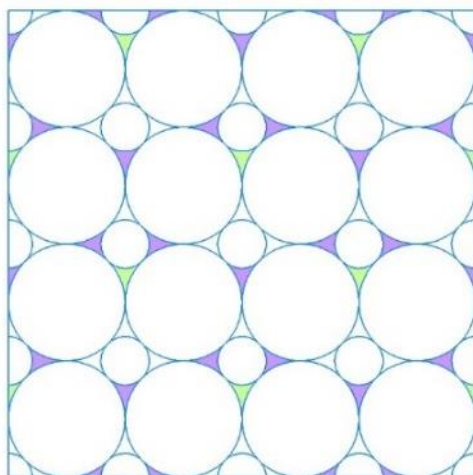


Рисунок 1 – Схема упаковки порошкового сплава Ti-Zr-Al (крупные зерна – титан  $\varnothing 10$  мкм, малые зерна – цирконий  $\varnothing 4$  мкм, цветные участки – алюминиевая связка), размер площадки –  $40 \times 40$  мкм

По геометрическим расчетам установлено, что достаточным является содержание алюминия на уровне 5% при условии использования порошка алюминия размера порядка 100 нм. С учетом всех представленных данных рассчитаны три модельных состава сплавов опытных образцов нераспыляемого геттера, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сплавов для изготовления опытных образцов нераспыляемого геттера с повышенными сорбционными свойствами

№ сплава	Содержание Ti, об. %	Содержание Zr, об. %	Содержание Al, об. %
1	47,5	47,5	5
2	66,5	28,5	5
3	28,5	66,5	5

На рисунке 2 представлены фотографии структуры спеченной титановой таблетки (а) и спеченной с алюминиевой связкой титановой таблетки (б).

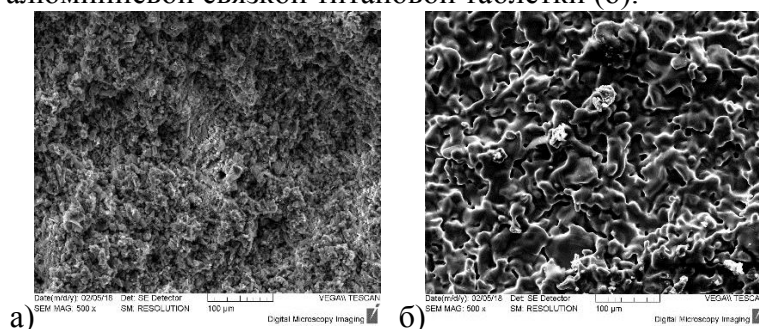


Рисунок 2 – Фотографии структуры а) спеченного титанового порошка, б) спеченного титанового порошка с алюминиевой связкой, полученные с помощью РЭМ при увеличении  $\times 500$

В результате проведенной исследовательской работы, анализа научной и патентной литературы, а также моделирования получаемой структуры были выбраны 3 экспериментальных состава материала нераспыляемого геттера с предполагаемо повышенными сорбционными свойствами.



**Литература**

1. *Hendrik Johannes Reinierus Perdijk, Johann Diedrich Fast, Jan Josephus Bernardus Fransen*. Method of producing a non-vaporizing getter: patent 2.855.368 USA. 1958. US Patent Office
2. *Claudio Boffito, Aldo Barosi, Alessandro Figini*. Non-evaporable ternary gettering alloy and method of use for the sorption of water, water vapor and other gases: patent 4.312.669 USA. 1982. Boffito et al.
3. *Claudio Boffito, Massimo Bolognesi*. Recovery of tritium deuterium from their oxides and intermetallic compound useful therein: patent 5.180.568 USA. 1993. Boffito et al.
4. *Реутова Н.П., Манегин С.Ю., Акименко В.Б.* Способ получения неиспаряемого геттера и геттер, полученный этим способом: пат. 2118831 Российская Федерация. 1998. НТО «Техновак».

**УДК 621.785.53:669.018.584****РАЗМЕЩЕНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ АТОМОВ В<sub>12</sub> В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ  $\gamma$ -FE И ВЛИЯНИЕ БОРА НА ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ**

Арестов Виталий

*Магистр 2 года**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: В. С. Крапошин,**доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Положительное влияние малых добавок бора на структуру и свойства сталей давно и хорошо известно [2]. Влияние бора на прокаливаемость достигается при очень малой величине добавки, близкой к  $10^{-6}$  атомных долей. При столь малых добавках бора достигается эффект, равноценный добавке 1 % Mn [4]. Уже давно исследования сталей, легированных бором, позволили сделать обобщения: бор не влияет на протекание перлитного превращения, если оно уже началось, и не сдвигает окончание превращения в низколегированных сталях. В легированных сталях бор замедляет образование доэвтектоидного феррита вследствие снижения скорости формирования зародышей, поэтому сильно тормозится превращение в перлитной области [2].

Общепринято, что бор способствует преимущественно сдвиговому превращению аустенита, замедляет превращение основных фаз — феррита, гранулярного бейнита, сдвигает область на диаграмме распада переохлажденного аустенита вправо, тем самым облегчая образование мартенсита. Вследствие этого, в частности, для получения бейнитной структуры в экономно-легированной стали класса прочности X120 ее дополнительно микролегируют бором [3], что способствует снижению критических точек (температур начала ферритного и бейнитного превращения) на 50 °С. По результатам исследований особенностей распределения бора в стали X120 установлено, что этот элемент находится в свободном состоянии (в твердом растворе по границам зерен), в виде сегрегации на межфазных границах по периферии бейнитных колоний, не связан в нитриды и оксиды бора, что делает эффективным его введение в стали данной категории в количестве 0,0015 – 0,002 % [5].

В качестве модели растворения бора в решетке аустенита предлагается геометрическая структура, полученная пересечением четырех икосаэдров и последующим замещением общего тетраэдра на икосаэдр  $B_{12}$  [1].

Геометрические и химические особенности кластера на рис. 1 позволяют считать их общей причиной наблюдаемого влияния малых добавок бора на размер зерна, прокаливаемость и другие технологические характеристики стали. Кластер  $B_{12}$  стабилен, поэтому он будет тормозить миграцию зерен и распад аустенита на ферритно-перлитную смесь, поскольку оба процесса предполагают распад икосаэдрического кластера  $B_{12}$  и изменение конструкции его оболочки. В пользу стабильности всего кластера на рис.1 свидетельствуют два обстоятельства.

1. Распространенность кластера в соединениях с разной природой химической связи ( $Al_{13}Cr_4Si_4$ ,  $Ti_2Ni$ ,  $Th_6Mn_{23}$ ).
2. Конструкция кластера точно совпадает с трехмерной проекцией фрагмента четырехмерного Платонова тела, собранного из пяти правильных тетраэдров по граням вокруг общего ребра [6].

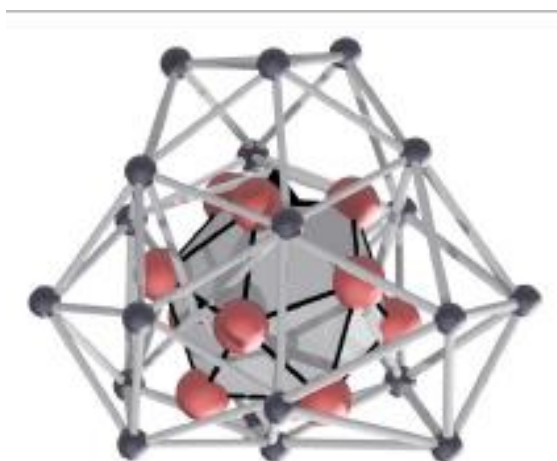


Рис. 1. Размещение икосаэдрического кластера  $B_{12}$  на месте пересечения четырех икосаэдров [1].

### Литература

1. Крапошин В.С., Талис А.Л., Каменская Н.И., Арестов В., Зайцев А.И. Размещение коллективных атомов  $B_{12}$  в кристаллической структуре  $\gamma$ -Fe и влияние бора на прокаливаемость стали //Металловедение и термическая обработка металлов. 2018г. №2.С. 5-13.
2. Гудремон Э. Специальные стали: Т. 2. М.: Металлургия, 1966. 1274 с.
3. Ueno M., Inoue T. Distribution of boron at austenitic grain boundaries and bainitic transformation in low carbon steels // Transaction ISIJ. 1973. V. 13. P. 210 – 217.
4. Asahi H. // ISIJ International. 2002. V. 42. P. 1150 – 1155.
5. Симбухов И. А. Разработка химического состава, технологии термомеханической обработки высокопрочной стали категории прочности X120 (K90) для труб магистральных газопроводов высокого давления / Дисс. ... канд. техн. наук. ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина, М., 2014.
6. Coxeter H. S. M. Regular polytopes. New York: Dover, 1983. 321 p.

## УДК 621.7

### РАЗРАБОТКА КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА SiC – TiN С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Антон Юрьевич Афонин

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. Г. Колмаков,  
доктор технических наук, профессор, заместитель директора ИМЕТ РАН, член-  
корреспондент РАН*

В данной работе для создания материала использовался порошок карбида кремния. Он отличается рядом полезных свойств, включая высокую твердость, прочность, износостойкость, теплопроводность и другие. Важным свойством карбидов является сочетание прочности с некоторой пластичностью, в связи с этим ряд работ посвящен исследованию пластических свойств карбидов [1]. Но эти свойства необходимо улучшать.

Добавление небольшого количества TiN приводит к заметному повышению механических свойств SiC-керамики. С этой задачей хорошо справляется порошковая металлургия. Нитрид титана является перспективным материалом в качестве защитного износостойкого покрытия. Сочетание свойств карбида кремния и нитрида титана позволяет получить новый износостойкий композиционный материал, имеющий набор уникальных свойств.

Для такой задачи необходимо специальное дорогое оборудование и сырье, а все возрастающие требования к материалам делают необходимым разработку новых методов их получения и улучшения.

Поэтому целями работы как раз являются: создание нового композиционного материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками, разработка новой технологии получения материала и исследование влияния спекающих добавок на механические свойства материала.

В результате работы были получены образцы композиционного материала SiC-TiN методом горячего прессования на установке Thermal technology Inc. HP20-3560-20. Исходными компонентами являлись порошки карбида кремния, полученного методом СВС, порошок титана. В качестве спекающих добавок были применены алюмо-иттриевый гранат и иттрий-алюминий-цирконий. Обжиг проводился в среде азота в графитовой пресс-форме при температуре 1600°C в течении 30 минут, с последующим повышением температуры до 1850°C с выдержкой в 30 минут. Удельное давление прессования составляло 30 МПа. Плотность, относительную плотность определяли методом гидростатического взвешивания. Микротвердость измеряли на микротвердомере Wolpert Wilson Instruments 401/402-MVD. Испытания на трехточечный изгиб проводили на установке Instron 3382.

Были проведены исследования механических свойств материала, влияния типа спекающей добавки на эти свойства и микроструктуру.

В результате азотирование титана происходило в процессе обжига в среде азота с получением нитрида титана стехиометрического состава. Увеличение количества титана приводит к повышению микротвердости в 1.5 раза. В качестве спекающей добавки YAG показал лучшие результаты.

Таким образом, показана перспектива композиционного материала SiC-TiN, а также предложен метод получения материала путем азотирования титана непосредственно при обжиге.

## Литература

1. Самсонов Г.В., Косолапова Т.Я., Гнезин Г.Г. Карбиды и сплавы на их основе, 1976. С. 3-4.

## УДК 546

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Ti-Nb-Ta-Zr МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Мария Игоревна Баскакова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научные руководители: А.Г. Колмаков,*

*чл.-корр. РАН, доктор технических наук, заместитель директора ИМЕТ РАН*

*Е.О. Насакина,*

*кандидат технических наук ИМЕТ РАН*

Материалы, применяемые в медицине для изготовления имплантатов, должны проявлять комплекс свойств, обеспечивающих совместимость медицинского изделия и организма, таких как сверхупругость, низкие значения модуля Юнга, высокая коррозионная стойкость и биосовместимость.

Низкие значения модуля Юнга (50 - 80 ГПа) и сверхупругое поведение, близкое к поведению живой ткани, демонстрируют сплавы с эффектом памяти формы, особенно, сплавы Ti-Ni. Это привело к их широкому применению в медицине. Однако токсичные свойства никеля ограничивают их дальнейшее медицинское применение.

В связи с вышесказанным актуальным является создание «безникелевых» титановых сплавов с памятью формы, проявляющих сверхупругое поведение. С целью изыскания такого перспективного материала, отвечающего указанным требованиям, был взят сплав системы Ti-Nb-Ta-Zr.

Такие элементы как титан, цирконий, ниобий, тантал являются нетоксичными, вследствие чего не вызывают неблагоприятных реакций в организме человека.

Целью работы является разработка технологии получения сверхупругого сплава Ti-Nb-Ta-Zr для медицинского применения и исследование его свойств.

Для этого в работе предусматривается решить следующие задачи:

1. Постадийно разработать технологию получения проволоки из сплава Ti-Nb-Ta-Zr различных составов.
2. Исследовать микроструктуру, фазовый и послойный элементный составы образцов на всех стадиях изготовления проволоки.

В качестве объектов исследования был выбран сплав Ti-Nb-Ta-Zr следующих составов: Ti-20Nb-10Ta-5Zr, Ti-25Nb-10Ta-5Zr, Ti-25Nb-13Ta-5Zr, Ti-20Nb-13Ta-5Zr, Ti-30Nb-10Ta-5Zr, Ti-30Nb-13Ta-5Zr. В качестве шихтовых материалов использовались

йодидный титан, йодидный цирконий, технически чистый ниобий и технически чистый тантал.

Технология изготовления проволоки медицинского назначения предусматривала следующие этапы:

- выплавка слитков из чистых шихтовых материалов вакуумно-дуговым методом;
- гомогенизационный отжиг слитков;
- прокатка слитков;
- ротационная ковка слитков;
- волочение заготовок.

Проведены исследования послыонного элементного состава образцов Ti-Nb-Ta-Zr при помощи Оже-спектрометрии, фазового состава с помощью рентгеновской дифрактометрии, структуры на оптическом, сканирующем микроскопах.

Было подтверждено содержание элементов в исследованных образцах, отмечено равномерное распределение элементов по объему слитков. Установлено, что равномерная структура получена для всех составов, до и после гомогенизирующего отжига. Рентгеновская дифрактометрия свидетельствует, что элементы сплава не распределены в нем отдельными фрагментами, а соединены в единую структуру. Слиткам присуща дендритная структура, характерная для сплавов, полученных литьем. При этом ниобий и цирконий распределены равномерно по всему объему образцов, тантал сконцентрирован в самих дендритах, титан преимущественно находится в областях между осями дендрита, но встречается и в нем.

#### Литература

1. Жукова Ю.С. Получение и исследование свойств сверхупругих сплавов Ti-Nb-Ta, Ti-Nb-Zr медицинского назначения. М.: МИСиС, 2013. 167 с.
2. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. Сплавы с эффектом памяти формы. М.: Металлургия, 1990. 224 с.
3. Nasakina E.O., Baikin A.S., Sevost'Yanov M.A., Kolmakov A.G., Zabolotnyi V.T., Solntsev K.A. Properties of nanostructured titanium nickelide and composite based on it [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 2014, pp. 477-486.
4. Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Гончаренко Б.А., Леонова Ю.О., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т. Методы исследования коррозионной стойкости медицинского сплава нитинол с эффектом памяти формы. Способы изменения коррозионной стойкости // Перспективные материалы. 2014. № 9. С. 19-33.
5. Заболотный В.Т., Колмаков А.Г., Севостьянов М.А., Насакина Е.О. Совершенствование медицинских изделий для эндоваскулярных операций // Интеграл. 2013. № 4. С. 42-45.

УДК 621.785.532

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ШРУСА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Михаил Владимирович Беляков

Магистр 1 года,

Кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Научный руководитель: Р.С. Фахуртдинов,  
Кандидат наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

### **Аннотация**

Исследованы химический состав, структура и твердость деталей шарнира равных угловых скоростей (ШРУС). Установлено пониженное качество поверхностного слоя корпуса - включения феррита и разброс толщины закаленного слоя и обоймы – пониженная толщина цементованного слоя и твердость поверхности.

Комплект деталей шарнира равных угловых скоростей (ШРУС) состоит из корпуса, обоймы, сепаратора и шести шариков. Это наиболее нагруженный узел трансмиссии. Корпус и обойма ШРУСа испытывают значительные знакопеременные контактные напряжения, подвержены изнашиванию и ударным нагрузкам.

Целью исследования было установление качества поверхностного упрочнения деталей ШРУСа.

Исследования включали: определение химического состава корпуса и обоймы, анализ микроструктуры, твердости и распределения микротвердости.

Установлено, что химический состав детали корпуса соответствует марке стали 55, детали обоймы – марке стали 20Х, а детали шарик – марке стали ШХ15. Корпус упрочнен поверхностной закалкой с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ), обойма – цементацией [1, 2].

Результаты металлографических исследований корпуса показали, что поверхностный слой имеет структуру мартенсита отпуска с мелкодисперсными включениями феррита, которые не успели раствориться в аустените при нагреве под поверхностную закалку. Сердцевина корпуса имеет структуру сорбита с ферритом, расположенным по границам зерна в виде сетки. Такая структура характерна для нормализованного состояния. Можно заключить, что сталь 55, из которой изготовлен корпус, подвергалась термической обработке - нормализации. В дальнейшем внутренняя поверхность корпуса была упрочнена поверхностной закалкой с нагревом ТВЧ и низким отпуском. Наличие феррита в поверхностном слое приводит к снижению твердости поверхностного слоя и не обеспечивает максимальный уровень износостойкости и контактной выносливости. Исследование микротвёрдости детали корпус показало, что микротвердость поверхности находится в пределах (726 - 798) HV, при переводе в значение твердости по Роквеллу - (57 - 62) HRC, что соответствует требованиям чертежа (56 - 62) HRC. Микротвердость сердцевины находится в пределах (223 - 277) HV, а по шкале Роквелла – (21 - 29) HRC. Эффективная толщина закаленного слоя детали корпус находится в широких пределах - (1,0 - 3,2) мм. В чертеже корпуса отсутствуют требования по уровню твердости сердцевины и толщине упрочненного слоя. Однако, такой значительный разброс значений эффективной толщины закаленного слоя приводит к существенному разбросу уровня контактной выносливости и износостойкости.

Микроструктура поверхностного слоя обоймы состоит из мартенсита отпуска с небольшим количеством мелкодисперсных карбидов. Микроструктура сердцевины обоймы состоит из сорбита с тонкой ферритной сеткой, ориентированной по границам зёрен. Можно заключить, что сталь 20Х перед цементацией подвергалась нормализации. Микротвердость поверхности детали обоймы изменяется в пределах (664 - 743) HV, а по шкале Роквелла – (56 - 59) HRC; что не соответствует требованиям чертежа – не менее 62 HRC. Микротвердость сердцевины находится в пределах (330 - 438) HV, по шкале Роквелла – (35 - 43) HRC. Эффективная толщина цементованного слоя детали обоймы находится в пределах - (0,88 - 1,32) мм, что уступает требованиям чертежа – (1,2 - 1,6) мм.

## Литература

1. Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Рыжова М.Ю и др. Технология вакуумной цементации зубчатых колес из теплостойких сталей // Технология металлов. – 2017 - №1.- С. 8-16.
2. Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Рыжова М.Ю и др. Износостойкость теплостойкой стали после вакуумной цементации // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2016. - № 7. - С. 8-13.

УДК 669.715:621.78

## ПОСТРОЕНИЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЯЕМОГО СПЛАВА В1341 СИСТЕМЫ Al-Mg-Si

Ильяс Бенариеб

Магистр 2 года,

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Пучков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Современные дисперсионно-твердеющие деформируемые алюминиевые сплавы системы Al-Mg-Si широко применяются в машиностроении и строительстве благодаря хорошему сочетанию свойств [1,2]. Для упрочнения данных сплавов проводят термическую обработку, состоящую из закалки и последующего старения. Одной из проблем термической обработки таких сплавов является рациональный выбор режима закалки.

Цель данной работы заключалась в исследовании характера превращений при распаде пересыщенного твердого раствора сплава В1341 системы Al-Mg-Si в зависимости от скорости охлаждения при закалке. Для этого на основе результатов измерений дифференциально сканирующей калориметрии были построены термокинетическая диаграмма (рис. 1) для данного сплава.

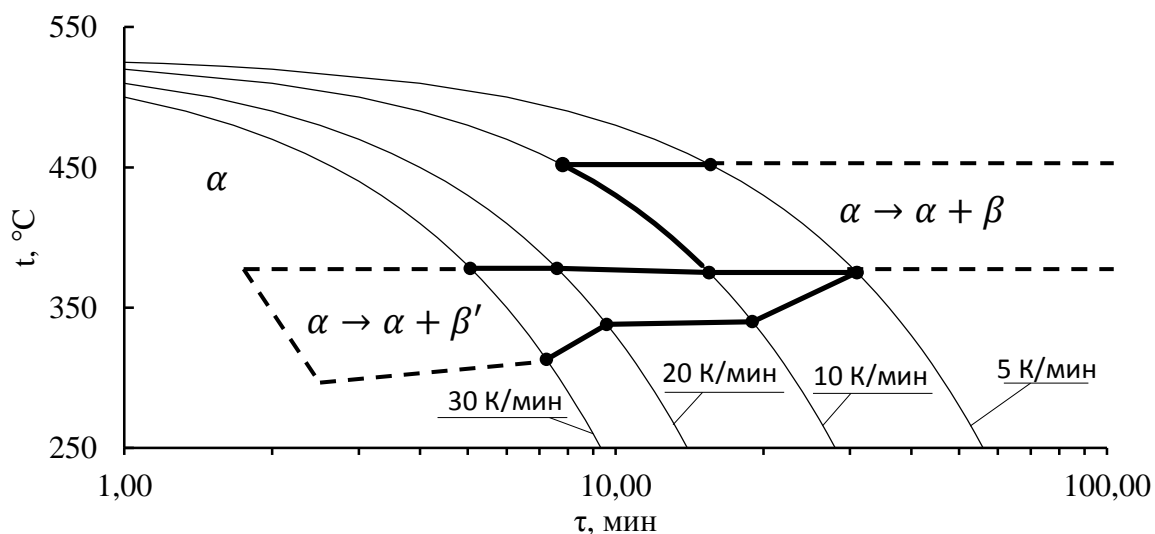


Рис. 1. Термокинетическая диаграмма исследуемого сплава В1341 системы Al-Mg-Si

Полученная диаграмма может быть использована для выбора режима закалки изделий из деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si.

### Литература

1. Колобнев Н.И., Бер Л.Б., Хохлатова Л.Б. Структура, свойства и применение сплавов системы Al-Mg-Si-(Cu) // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2011. № 9. с. 40-45.
2. Овчинников В.В., Грушко О.Е. Высокотехнологичный свариваемый алюминиевый сплав В1341 системы Al-Mg-Si // *Машиностроение и инженерное образование*. 2005. № 3. С. 2–11.

УДК 669-157.84

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Павел Сергеевич Бешенков

*Магистр 1 года,*

*Кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Курганова,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Твёрдые сплавы в настоящее время являются распространенным инструментальным материалом, широко применяемым в инструментальной, горнодобывающей промышленности. За счет наличия в структуре тугоплавких карбидов твёрдосплавный инструмент обладает высокой твёрдостью, теплостойкостью, поэтому ими можно работать со скоростями, в несколько раз превышающими скорости резания для быстрорежущих сталей.

Экономические затраты в области обработки металлов давлением, резанием, добыче полезных ископаемых и других определяются затратами на инструмент, которые напрямую зависят от свойств твердых сплавов. В связи с этим ведутся поиски повышения механических свойств твердых сплавов с целью повышения срока эксплуатации.

Решением данной задачи является применение в качестве материала для режущих деталей инструментов твердых сплавов с легированной связующей фазой, в которых наблюдается уникальное сочетание высоких показателей прочности, твердости, жаропрочности, недостижимых для стандартных сплавов.

Легирующими добавками были выбраны рутений, рений и осмий, которые образуют с кобальтом непрерывные ряды твердых растворов. Эти растворы имеют температуру плавления выше, чем у чистого кобальта. В связи с этим ожидается прирост механических характеристик твердых сплавов, что и является объектом наблюдения в данной работе. Исследования проводились на вольфрамкобальтовых твердых сплавах.

Данная работа выполнена в тесном сотрудничестве с ООО «Завод технической керамики».



## Литература

1. *Панов В.С., Шуменко В.Н.* Технология и свойства спечённых твердых сплавов. М.: "МИСиС", 2016 г. 195с.
2. *Панов А.А., Аникин В.В., Бойм Н.Г.* Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение-1, 2004 г. 784с.
3. *Фальковский В.А., Клячко Л.И.* Твердые сплавы. М.: Руда и металлы, 2005 г. 415с.
4. *Гилле Г.* Субмикронные и ультрадисперсные твердые сплавы. 15-й Планзее, семинар. Ройте (Тироль, Австрия), 2001г. 330с.
5. Анализ способов повышения стойкости материалов режущих инструментов / *Иващенко А.П.* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №12. С.389-392.

## УДК 539.531

### КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Алексей Игоревич Болотников

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Техническая физика»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Л.Р. Ботвина,*

*доктор технических наук, профессор института металлургии и материаловедения им.  
А.А.Байкова РАН*

Периодический характер пластической деформации, свидетельствующий о ее волновой природе, отмечали многие исследователи [1-3]. В работе [4] было обнаружено периодическое изменение микротвердости ( $HV$ ), а также физических свойств конструкционных сталей на разных стадиях циклического нагружения.

Цель данной работы состояла в развитии этого исследования, в частности, в оценке статистических характеристик изменения микротвердости трех конструкционных сталей (Ст20, Ст45 и 12Х18Н9Т) в процессе циклирования.

В результате статистической обработки массива данных по микротвердости конструкционных сталей Ст20, Ст45 и 12Х18Н9Т, полученных в работе [4], были построены зависимости от относительного числа циклов нагружения среднего квадратичного отклонения  $HV$  (Рис. 1а) и коэффициента структурной неоднородности, оцененного по рассеянию микротвердости [5] (Рис. 1б), а также минимальные и максимальные значения  $HV$ .

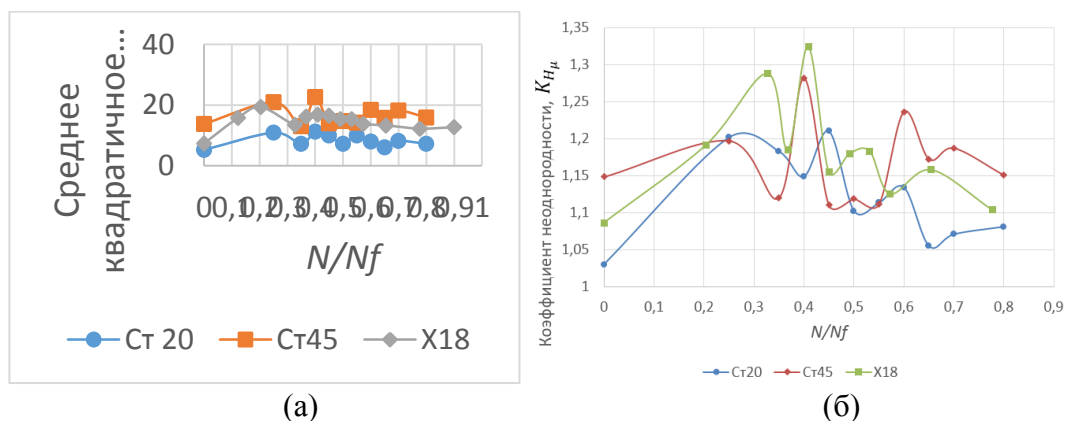


Рис. 1. Зависимость среднего квадратичного отклонения микротвердости (а) и коэффициента структурной неоднородности (б) от относительной долговечности Ст20, Ст45 и 12Х18Н9Т

Статистические характеристики изменения микротвердости исследуемых сталей были оценены при значениях относительной долговечности, изменяющихся с шагом около  $0,1N/N_f$ . Как следует из Рис. 1, оцененные статистические характеристики подтверждают квазипериодический характер изменения микротвердости в процессе циклического нагружения. Видно, что наибольшие значения среднего квадратичного отклонения для всех сталей наблюдаются при относительной долговечности равной  $0,4N/N_f$ , что может быть связано с процессом интенсивного накопления повреждений и, как следствие, увеличением разброса данных. Наибольшее среднее квадратичное отклонение значений  $HV$  характеризует более прочные стали Ст45 и 12Х18Н9Т, что подтверждается также измерениями минимальных и максимальных значений микротвердости.

Подобные квазипериодические изменения с относительным числом циклов обнаружены и при измерении характеристик неразрушающего контроля [4].

### Литература

1. *Bonder S.R., Baruch J.*, 1972 Determination of dislocation velocities and densities from the deformation waves of discontinuous yielding. *J. Appl. Phys.* 43, 5, 2092-2101
2. *Zuev L.B., Danilov V.I., Brannikova S.A.*, 2008. Plastic flow macrolocalization physics. Nauka(Ed.), Novosibirsk (on Russian)
3. *Panin V.E., Elskova T.F., Angelova G.V.*, 2002. Wave pattern of fatigue crack propagation on the surface of polycrystalline aluminum subjected to cyclic deformation. *Physical Mesomechanics Vol 5, No. 3*, 93-99 (in Russian)
4. *Botvina L, Levin V., Soldatenkov A., Trunova V.*, 2017 Periodical changes in microhardness and physical properties of the low-carbon steel at cyclic loading. *Book of abstracts international Conference on Structural Integrity and Durability 2017*, 85-86
5. *Романов А.Н.* Проблемы материаловедения в механике деформирования и разрушения на стадии образования трещин (часть 2) Структурная и деформационная неоднородность конструкционных материалов и рассредоточенное трещинообразование // Вестник научно-технического развития. 2014.№1.С. 37-54.

УДК 621.785.53

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО  
ТИТАНОВОГО СПЛАВА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ТКАНЯМИ**

Мария Франковна Венде

*Студент 4 курса, бакалавриат**Кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,**Научный руководитель: М. Ю. Семёнов,**доктор технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Титан и его сплавы очень широко используются в различных областях медицины, для замены костной ткани, в сердечно-сосудистых системах, также используют данный материал в качестве покрытия имплантатов в ортопедической и стоматологической практике. Это возможно благодаря уникальным физическим и химическим свойствам, таким как низкая плотность, высокая прочность, низкий удельный вес по сравнению с медицинскими сплавами на основе железа и кобальта, хорошая устойчивость коррозии и лучшая биосовместимость среди широко используемых металлических биоматериалов, таких как комохромы и нержавеющая сталь. Так в работе [1] показана хорошая биосовместимость азотированных образцов из технически чистого титана, подвергнутого азотированию и карбонитрации, дающая возможность применять данные сплавы в стоматологии. Наряду с высокой биосовместимостью отмечен ряд недостатков, ограничивающих применимость этих сплавов, в том числе высокий коэффициент трения [2].

Настоящая работа направлена на определение материалов, обладающих более высокими свойствами по биосовместимости. В этой связи, в данной работе рассмотрено 3 вида поверхностной модификации титанового сплава ВТ6, такие как вакуумная нитроцементация, оксиазотирование и оксидирование и их влияние на приживаемость биологических тканей.

Применение указанного сплава обеспечивает большую прочность и долговечность изделий медицинского назначения. Износостойкость поверхности обеспечивает применение способов химико-термической обработки.

Экспериментально показано, что оксидированные образцы превосходят по биосовместимости оксиазотированные, а оксиазотированные – нитроцементованные. Исследования приживаемости проводились на лабораторной базе биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

В ходе дальнейших исследований предполагается выполнить численные оценки приживаемости, включая адгезию.

**Литература**

1. K. Banazek, B. Januszewicz, E. Wolowiec, L. Klimek Complex XRD and XRF Characterization of TiN-TiCN-TiC Surface Coatings for Medical Applications//Solid State Phenomena. Vol. 225 (2015). P. 159-168.
2. M. Januś, J. Konefał-Góral, A. Malek, S. Kluska, W. Jastrzębski, S. Zimowski, S. Jonas Surface Modification of Titanium by Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition (PACVD) Methods// Solid State Phenomena. Vol. 199 (2013). P. 561-566.

УДК 544.4

**КИНЕТИКА КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕДИ В ПРИСУТСТВИИ РЬО**

Анастасия Юрьевна Виноградова

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»  
Московский государственный технический университет*

*Научные руководители: А.А. Климашин,  
кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории №31  
Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН;  
С.Ю.Шевченко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им.  
Н.Э.Баумана*

В настоящее время в качестве теплоотводящих материалов часто используют медные сплавы, которые могут содержать нежелательные примеси, например, свинец или висмут. Хотя данные металлы не растворяются в меди в твердом состоянии, они распределяются по границам зерен, формируя при нагревании вырожденную жидкую эвтектику, практически не содержащую медь. Даже незначительная примесь соединений свинца (до 0,05 % масс.) может приводить к разрушению всей конструкции при нагревании на воздухе по причине катастрофического окисления меди [1]. Такое окисление обычно обусловлено наличием жидкой фазы в формирующемся оксидном слое и характеризуется значительно увеличенной скоростью процесса. В связи с актуальностью данной проблемы в настоящей работе были изучены кинетические закономерности окисления меди в присутствии оксида свинца, а также предложен механизм катастрофического окисления меди в контакте с РЬО.

Было установлено, что медь в присутствии оксида свинца (II) катастрофически окисляется при 800 °С на воздухе, причем окисление происходит по параболическому временному закону. Это свидетельствует о том, что процесс контролируется диффузией. Была рассчитана константа параболической скорости окисления меди в контакте с РЬО, которая составляет  $7 \cdot 10^{-5} \text{ кг}^2 \text{ м}^{-4} \text{ с}^{-1}$ , что в 70 раз больше показателя чистой меди в тех же условиях. Для понимания процесса катастрофического окисления меди была исследована микроструктура сформировавшегося оксидного слоя и определен фазовый состав продуктов окисления. На основании экспериментальных результатов предложен механизм катастрофического окисления меди в присутствии РЬО.

**Литература**

1. Белоусов В.В. Катастрофическое окисление металлов // Успехи химии. - 1998. - № 7. - С. 631-640.

УДК 544.6

**МЕХАНИЗМ УСКОРЕННОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ  
МЕДИ, ИНДУЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ТЕЛЛУРА IV**

Ольга Викторовна Власова

*Студент 4 курса, бакалавриат**Кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научные руководители: А.А. Климашин<sup>(1)</sup>, Д.В. Власова<sup>(2)</sup>**кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории № 31 Института  
металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова РАН<sup>(1)</sup>,  
ассистент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана<sup>(2)</sup>*

В промышленности при выборе металла, обладающего высокой тепло- и электропроводностью, нередко отдается предпочтение меди. Она является одним из основных материалов в конструкциях теплоотводов камер сгорания жидкостных ракетных двигателей. Часто медь используется с легирующими добавками, например, теллуrom, который улучшает обрабатываемость материала и его термическую стабильность в определенном интервале температур, практически не изменяя физические и механические свойства самой меди. Во время эксплуатации при высоких температурах на воздухе и медь, и теллур окисляются, а их оксиды, в свою очередь, могут формировать легкоплавкие эвтектики. Оксидные расплавы часто обладают высокой смешанной проводимостью [1], что значительно ускоряет процесс окисления медной основы и приводит к разрушению всей конструкции.

В настоящей работе рассмотрен процесс ускоренного высокотемпературного окисления меди в присутствии оксида теллура (IV) при 650 °С, установлен линейный временной закон окисления меди. В отличие от диффузионного ограничения скорости окисления чистой меди, процесс окисления в избытке  $\text{TeO}_2$  контролируется скоростью химических реакций, предположительно, на границе раздела расплав-металл. Константа линейной скорости окисления меди при 650 °С на воздухе в присутствии  $\text{TeO}_2$  составляет  $9 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Исследована микроструктура и определен фазовый состав образующегося оксидного слоя, предложен механизм процесса ускоренного окисления меди.

На рис.1 приведена фотография фронта окисления, полученная в результате катастрофического окисления меди, покрытой оксидом теллура, при 650 °С в течение всего лишь 30 минут. Из фотографии следует, что окислительный процесс достаточно быстро разрушает поверхность меди, буквально, «растворяя» ее поверхность расплавом.



Рис. 1. Фронт окисления меди в контакте с  $\text{TeO}_2$  при 650 °С

Типичная микроструктура продуктов окисления меди в контакте с  $\text{TeO}_2$  приведена на рис. 2. Видны два слоя оксида с включениями еще одной структурной составляющей.

Внешний слой очень хрупкий, внутренний же, наоборот, имеет прочное сцепление с образцом.

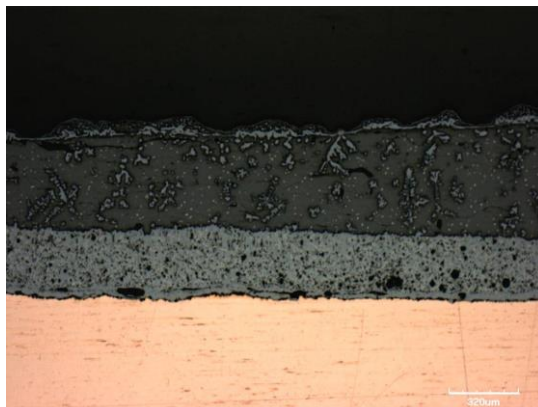


Рис. 2. Микроструктура продукта окисления меди в контакте с  $\text{TeO}_2$   
при 650 °С

### Литература

1. Белоусов В. В., Климашин А. А. Высокотемпературное окисление меди // Успехи Химии. 2013. № 82. С. 273.

### УДК 669.245

#### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

Владислав Кириллович Гаазе <sup>(1)</sup>, Юлия Александровна Лопатина <sup>(2)</sup>

*Студент 4 курса <sup>(1)</sup>*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Магистр 2 года <sup>(2)</sup>*

*кафедра «Технологии материалов электроники»*

*Московский институт стали и сплавов*

*Научный руководитель: С.П. Щербаков,*

*ассистент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

На основе литературного обзора установлена актуальность разработки технологии введения добавок измельченных волокон оксида алюминия в металлические матрицы с целью управления структурно зависимыми свойствами материала. Применение таких дисперсно-упрочненных композиционных материалов (КМ) охватывает целый спектр изделий, начиная от простых, таких как направляющие цилиндров в автомобиле и стойки снежных навесов и заканчивая сложными высокотехнологичными компонентами, такими как формованные сложно получаемые многофункциональные детали.

Одним из наиболее технологичных, простых в реализации и не требующим больших материальных затрат методов получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов является метод механического замешивания упрочнителя в расплав. Технологические особенности процесса позволяют решить проблему преодоления сил поверхностного натяжения при введении упрочнителя в жидкую матрицу и распределения количественно малых и легких по сравнению с основным материалом добавок.

Рассматриваемые в данной работе экспериментальные образцы получены в условиях лаборатории кафедры МТ8 «Материаловедение» на установке для замешивания упрочнителя в расплав, спроектированной и введенной в эксплуатацию коллективом студентов и преподавателей кафедры. В качестве матрицы для изготовления образцов был выбран алюминиевый сплав АК6, в качестве дисперсных добавок – измельченные волокна оксида алюминия диаметром 10-20. Образцы базового сплава и полученных упрочненных композитов были исследованы по стандартным методикам металлографического анализа и методом измерения твердости.

В результате макро- и микроскопических исследований выявлен модифицирующий эффект добавок, выраженный в измельчении зерна. Полученная в результате обработки данных форма кривых распределения твердости имеет выраженный смещенный экстремум, что свидетельствует о внесенных изменениях в свойства с одной стороны, и демонстрирует достаточный уровень усвоения расплавом добавок – с другой. Сделан вывод о целесообразности использования рассматриваемого метода армирования при получении материалов данной группы.

### Литература

1. *Калашников И.Е.* Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов. – М.: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, ИМЕТ им. А.А.Байкова РАН, 2011. – 428с.
2. *Серпова В.М., Шавнев А.А., Гришина О.И., Краснов Е.Н., Соляев Ю.О.* Смачиваемость и межфазное взаимодействие в металлическом композиционном материале на алюминиевой матрице, армированной оксидом алюминия. // *Материаловедение.* – 2014. – №12. – С. 29-35.
3. *Курганова Ю.А., Березовский В.В., Соляев Ю.О., Лурье С.А., Шавнев А.А.* Исследование механических свойств МКМ на основе алюминиевого сплава, армированного дисперсными частицами карбида кремния. // *Деформация и разрушение материалов.* – 2014. – №12. – С. 12-16.
4. *Чернышова Т.А., Курганова Ю.А., Кобелева Л.И., Болотова Л.К.* Литые дисперсно-упрочненные алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение. // Ульяновск: УлГТУ. – 2012. – 295с.

УДК 621.787

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛЕЙ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Арсений Андреевич Горковцов

*Магистр 1 года,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Л.В. Федорова**доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Одной из основных причин выхода из строя буровой машины является повреждение бурильной трубы. Наиболее характерным дефектом бурильных труб является износ наружной и внутренней резьбы при многократных сборках-разборках резьбовых соединений вследствие чего эксплуатация деталей невозможна. Одним из направлений повышения износостойкости резьбовых соединений является увеличение твердости поверхностного слоя витков резьбы.

Электромеханическая обработка (ЭМО) является одним из методов формирующая высокую поверхностную твердость на заготовках из сталей.

В исследованиях приведены результаты изменения твердости поверхностного слоя стальных образцов после электромеханической поверхностной заковки (ЭМПЗ). Принципиальная схема ЭМПЗ приведена на рисунке 1.

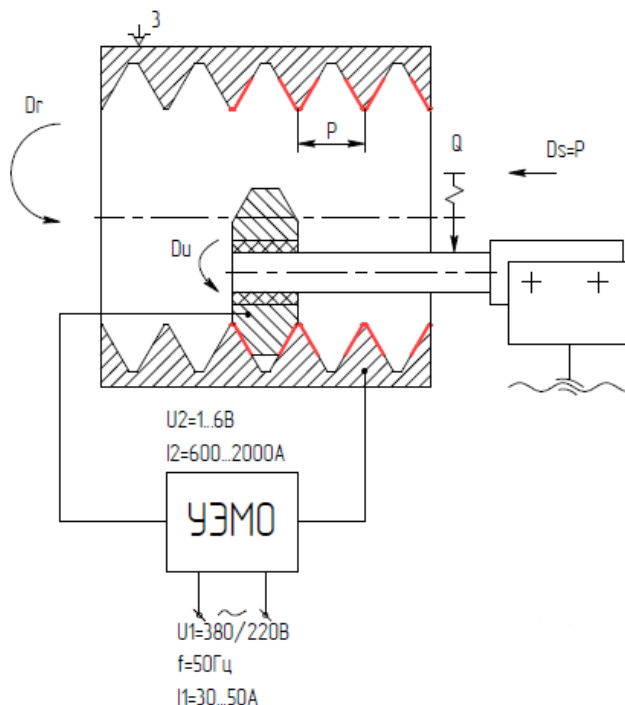


Рис. 1. Принципиальная схема электромеханической поверхностной заковки

Проведены исследования изменения микротвердости в зоне упрочнения после ЭМПЗ. Результаты исследований приведены в таблице 1.



Таблица 1. Результаты исследований теплостойкости образцов

№ п/п	Марка стали	Твердость, HRC
1	35Х	до 68
2	40Х	до 68
3	40ХН	до 69
4	30ХГСА	до 62

**Литература**

1. С.К. Федоров, Л.В. Федорова. Электромеханическая обработка. РИТМ. – 2012 – № 2 (70). - с. 14-16.
2. С.К. Федоров, Л.В. Федорова. Электромеханическая обработка для тяжелого машиностроения. РИТМ–2012–№5(73), с.16-18.
3. Б.М. Аскинази. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. Производственное издание. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.

УДК 544.6.018.46

**СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ  
ОКСИДА ИНДИЯ**

Полина Евгеньевна Дергачева

*Студент 4 курса,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: И.В. Кульбакин,**к. х. н., с. н. с. лаборатории функциональной керамики ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН*

В настоящее время активно развиваются мембранные технологии, позволяющие получать кислород высокой чистоты из кислородсодержащих сред [1]. Этот процесс можно осуществить при помощи ионотранспортных мембран, изготовленных из материалов со смешанной электронно-ионной проводимостью. Для их создания необходимо подобрать электронный проводник, химически и термически совместимый с оксидом висмута, являющимся рекордсменом среди кислород-ионных проводников в средней области температур [2]. Подбор такого материала является сложной задачей, поскольку с большинством элементов он образует слабопроводящие соединения, которые снижают либо общую электронную, либо общую ионную проводимость композитов [3]. Кроме того, при полиморфном превращении оксид висмута претерпевает значительное изменение объема, сопровождающееся растрескиванием керамики на его основе [4].

В данной работе были получены твердые растворы на основе оксида индия  $\text{In}_{2-x}\text{Me}_x\text{O}_{3+0,5x}$ , (Me = Zr, Hf, Sn;  $x = 0,1$ ), детально исследована серия образцов  $\text{In}_{2-x}\text{Zr}_x\text{O}_{3+0,5x}$  ( $x = 0,005 \dots 0,1$ ), подобраны условия их синтеза. Изучена электропроводность образцов четырехзондовым методом, установлен характер проводимости материала в зависимости от типа вводимой добавки и её содержания. Определен фазовый состав полученных материалов с помощью рентгенофазового анализа. Измерена кажущаяся плотность, общая, закрытая и открытая пористости образцов в

соответствии с ГОСТ 2409–2014, оценено влияние пористости на электропроводность материала.

Установлено, что наибольшей проводимостью в системе  $\text{In}_{2-x}\text{Zr}_x\text{O}_{3+0,5x}$  обладает твердый раствор  $\text{In}_{1,985}\text{Zr}_{0,015}\text{O}_{3,0075}$ . Объяснена возможная причина неаддитивности значений проводимости твердых растворов от концентрации слабопроводящей лигатуры  $\text{ZrO}_2$ .

### Литература

1. *Kerry F.G.* Industrial gas handbook: gas separation and purification. – Boca Raton, FL.: CRS Press, Taylor & Francis Group. 2007. – 550 p.
2. *Belousov V.V., Schelkunov V.A., Fedorov S.V., Kulbakin I.V., Vorobiev A.V.* Oxygen-permeable  $\text{In}_2\text{O}_3$ –55 wt.%  $\delta$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  composite membrane // *Electrochem. Commun.* 2012. Vol. 20. P. 60 - 62.
3. *Юхин Ю.М., Михайлов Ю.И.* Химия висмутовых соединений и материалов. – Н.: СО РАН. 2001. – 360 с.
4. *Harwig H.A., Gerards A.G.* Electrical properties of the  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , and  $\delta$  phases of bismuth sesquioxide // *J. Solid State Chem.* 1978. Vol. 26. P. 265-274.

УДК 621.785.6:621.785.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С БОРОМ ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Марина Игоревна Зверева

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.И. Каменская*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научные консультанты: М.Ю. Матросов<sup>(1)</sup>, П.Г. Мартынов<sup>(2)</sup>*

*кандидат технических наук, директор Центра сталей для труб и сварных конструкций ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»<sup>(1)</sup>*

*заместитель директора Центра сталей для труб и сварных конструкций ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»<sup>(2)</sup>*

Тяжелонагруженные конструкции горнодобывающей техники при эксплуатации испытывают различное неблагоприятное воздействие (истирание, ударные нагрузки, деформация и т.п.), которое приводит к их износу и разрушению [1-3]. В связи с этим проблема разработки и изготовления высокопрочного листового проката, обладающего высокой ударной вязкостью в особенности при отрицательных температурах в сочетании с требуемыми механическими свойствами, является чрезвычайно актуальной [1].

Эффективным способом одновременного повышения прочности и сопротивления хрупкому разрушению является измельчение элемента структуры – зерна или пакета мартенсита. Размер пакета мартенсита, в свою очередь, зависит от размера зерна

аустенита. Термомеханическая обработка (ТМО), в частности контролируемая прокатка, нашла широкое применение для измельчения зерна и обеспечения высокого уровня механических свойств стали. Изменять размеры структурных составляющих стали и добиваться заданных механических свойств можно также, применяя после ТМО дополнительную термическую обработку деформированного металла, главным образом закалку и отпуск [1,4].

**Целью настоящей работы** является разработка оптимального режима термической обработки, обеспечивающего формирование мелкозернистой структуры, высокий уровень ударной вязкости при отрицательных температурах и требуемые прочностные свойства листового проката, предварительно упрочнённого в процессе ТМО.

Для проведения исследований были выплавлены лабораторные слитки весом ~ 20 кг из низкоуглеродистой низколегированной стали с бором.

Слитки нагревали в камерной печи до температуры значительно превышающей температуру начала аустенизации. Затем осуществляли прокатку слитков на реверсивном стане «ДУО-300» по схеме двухстадийной контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением. Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства было проведено на пробах, термически обработанных в лабораторных печах.

Из полученных проб были изготовлены образцы для испытаний на растяжение (ГОСТ 1497-84) и ударный изгиб (ГОСТ 9454-78), а также для измерения твердости и исследования микроструктуры в т.ч. с использованием средств просвечивающей электронной микроскопии. Для выявления границ исходного аустенитного зерна проводили специальное травление в кипящем пересыщенном водном растворе пикриновой кислоты с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ). Оценку количественных параметров микроструктуры проводили с помощью программы Image Expert Pro 3.

#### **Результаты проведенных исследований**

– показано, что при нагреве под закалку деформированного металла происходит перекристаллизация стали, включающая две стадии: собственно фазового превращения, приводящего к образованию аустенита, и рекристаллизации, приводящей к измельчению зерна;

– исследовано влияние режимов термической обработки – закалки и отпуска на микроструктуру и механические свойства проката. Установлены оптимальные режимы термической обработки, обеспечивающие формирование мелкозернистой структуры, высокую ударную вязкость при низких температурах при сохранении прочностных характеристик на требуемом уровне.

#### **Литература**

1. *Мартынов П.Г., Матросов М.Ю., Митрофанов А.В., Барабаш К.Ю., Горошко Т.В., Каменская Н.И., Зверева М.И.* Исследование влияния режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства высокопрочного листового проката (400-450 НВ) из низколегированной стали // Проблемы черной металлургии. 2017. №4. С.46 – 52.
2. *Чукин М.В., В.М. Салганик, П.П. Полецков, Г.А. Бережная, М.С. Гущина, А.С. Кузнецова, Д.Ю. Алексеев.* Анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. № 2. С. 19–28.

3. *Сивцев М.Н., Слепцов Г.Н.* Исследование структуры сварных соединений при различных технологических параметрах сварки низколегированных сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2014. №2 (704). С.40 – 44.
- Зверева М. И.* Исследование влияния режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства высокопрочного листового проката из низкоуглеродистой хромокремнемарганцевой стали с молибденом и бором. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 4 – 7 апреля, 2017, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2017.– № гос. регистрации 0321701287.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=1919 (дата обращения: 14.03.2018).– Загл. с экрана.

УДК 53.539.23, 53.539.25

## СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПРОВОЛОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В КАНАЛАХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Иван Максимович Иванов

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Жигалина О.М.*

*доктор физико-математических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведущий  
научный сотрудник ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН*

В настоящее время развиваются области науки и техники, связанные с исследованием размерного фактора – зависимости физико-химических свойств материалов и структур от их размера [1]. Примером подобных материалов являются металлические нанопроволоки (НП), для получения которых может использоваться метод шаблонного синтеза. Данный метод основан на заполнении пространства пор шаблона требуемым веществом [2].

Представляется перспективным изучение НП из двух и более металлов. В этом случае наиболее интересным приобретаемым свойством является гигантское магнетосопротивление (ГМС) – квантомеханический эффект, наблюдаемый в тонких металлических плёнках, состоящих из чередующихся ферромагнитных и немагнитных слоев. Эффект состоит в существенном изменении электрического сопротивления такой структуры при различном взаимном направлении намагниченности соседних слоев [3]. Все современные магнитные носители информации используют это свойство.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что информация о структуре слоев НП практически отсутствует. В связи с этим, целью данной работы было изучение структуры НП, состоящих из чередующихся немагнитных и ферромагнитных слоев Cu-Ni, методами просвечивающей (ПЭМ) и растровой (РЭМ) электронной микроскопии.

Образцы для структурных исследований были получены гальваническим осаждением массивов Cu/Ni в потенциостатическом режиме.

На рис. 1а представлено РЭМ-изображение массивов НП. Длина НП достигала 1,5-5,0 мкм, диаметр – 100 нм. На микрофотографиях отдельных нанопроволок, полученных методом ПЭМ, хорошо видна их зёрненная структура (Рис. 1б). Размер отдельных зёрен составил 20-100 нм.

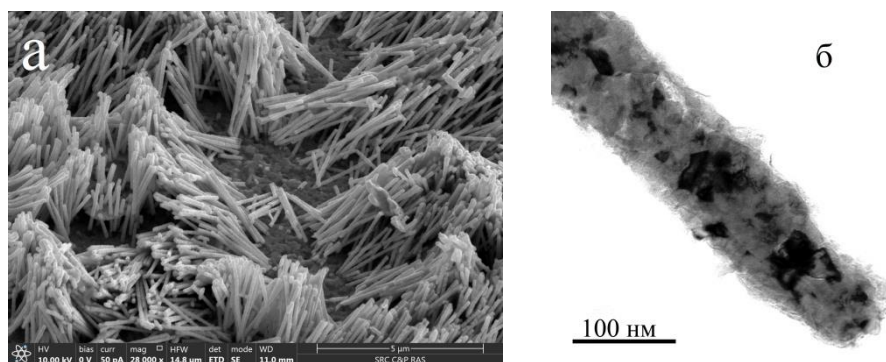


Рис. 1. Структура НП Cu-Ni: а) РЭМ-изображение массивов НП; б) ) ПЭМ-изображение отдельной НП

Элементный анализ показал, что слои Ni и Cu в одной НП могут располагаться перпендикулярно к ее оси или под некоторым углом (Рис. 2). Также установлено, что звенья одной нанопроволоки могут иметь различную толщину. Необходимо отметить, что изменение толщины от звена к звену происходит постепенно. На рисунке 2 толщина слоев НП меняется от 50 до 400 нм. Вероятной причиной этого является неодинаковость условий роста – по мере приближения растущей НП к устью поры матрицы длина части поры, оставшейся незаполненной, уменьшается, что приводит к увеличению тока, ускорению осаждения и, следовательно, увеличению толщины осаждённого слоя. Изменение соотношения толщин также может быть следствием неодинаковой диффузионной подвижности ионов различных металлов.

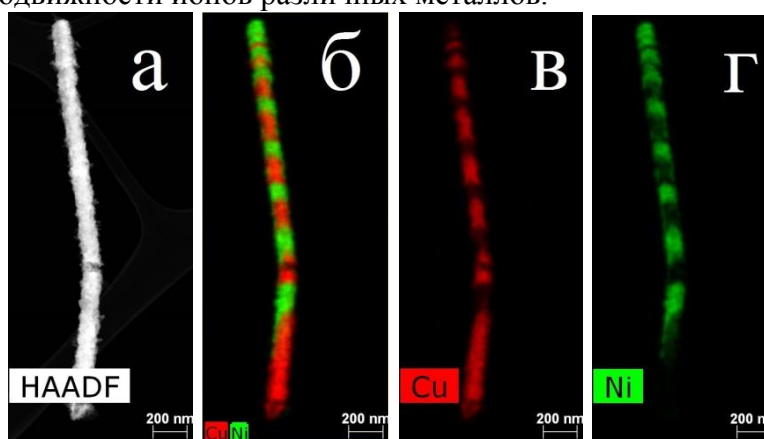


Рис. 2. Расположение слоёв в НП: а) ПРЭМ-изображение с z-контрастом, б-г) карты распределения химических элементов.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

### Литература

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 416 с.
2. Бедин С.А. Получение и исследование металлических реплик на основе трековых мембран: дис. ... канд. ф.-м. наук: 01.04.7. М., 2012. 136 с.
3. Никитин С.А. Гигантское магнитосопротивление // Соросовский обозревательный журнал. 2004. Т. 8, № 2. С. 92—98.

УДК 621.785.5

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ  
СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА**

Татьяна Петровна Игнатьева

*Магистр 2 года**Кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.Е.Смирнов**кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

В связи с непрерывным ростом требований к конструкционным материалам большое внимание в современном машиностроении уделяется развитию технологий поверхностного упрочнения. Состояние поверхности во многом определяет уровень прочности и эксплуатационные свойства деталей машин. Ионное азотирование (ИА) позволяет повысить твердость, износостойкость и стойкость к схватыванию, контактную выносливость, коррозионную стойкость и теплостойкость сталей, обеспечивая при этом малые деформации и коробление деталей или их отсутствие.

Для исследования микроструктуры и свойств сталей различного химического состава в исходном состоянии и после насыщения, определения параметров диффузионных слоев (твердость поверхности, распределение микротвердости, эффективная толщина слоя) была проведена серия экспериментов по азотированию в тлеющем разряде сталей 38Х2МЮА, 30ХГСА, ВКС-7, ВКС-10 при различных значениях времени выдержки.

Результаты металлографического анализа (рис. 1) исследуемых сталей после азотирования свидетельствуют, что наилучшей способностью к насыщению азотом обладает сталь ВКС-7. В сравнении со всеми исследуемыми сплавами она имеет наибольшую толщину диффузионного слоя.

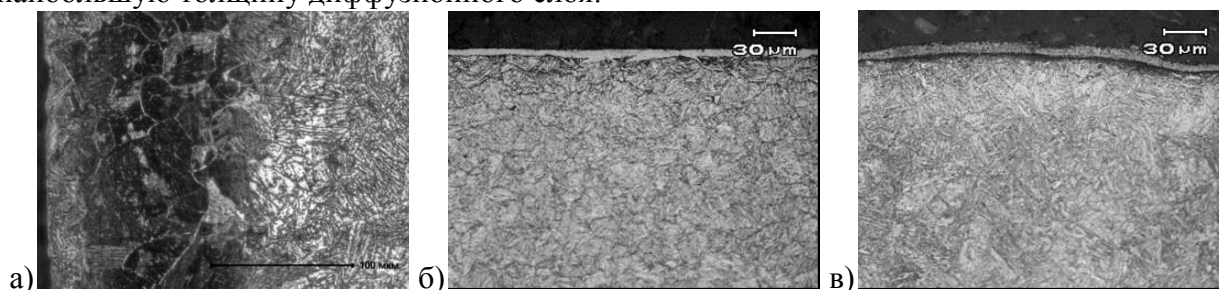


Рис. 1. Микроструктуры исследуемых сталей после азотирования, х500  
а) 38Х2МЮА, выдержка 8 часов; б) ВКС-7, выдержка 10 часов; в) ВКС-10, выдержка 10 часов

После химико-термической обработки при всех анализируемых режимах насыщения исследуемым сплавам свойственно уменьшающееся от поверхности значение микротвердости (рис. 2).

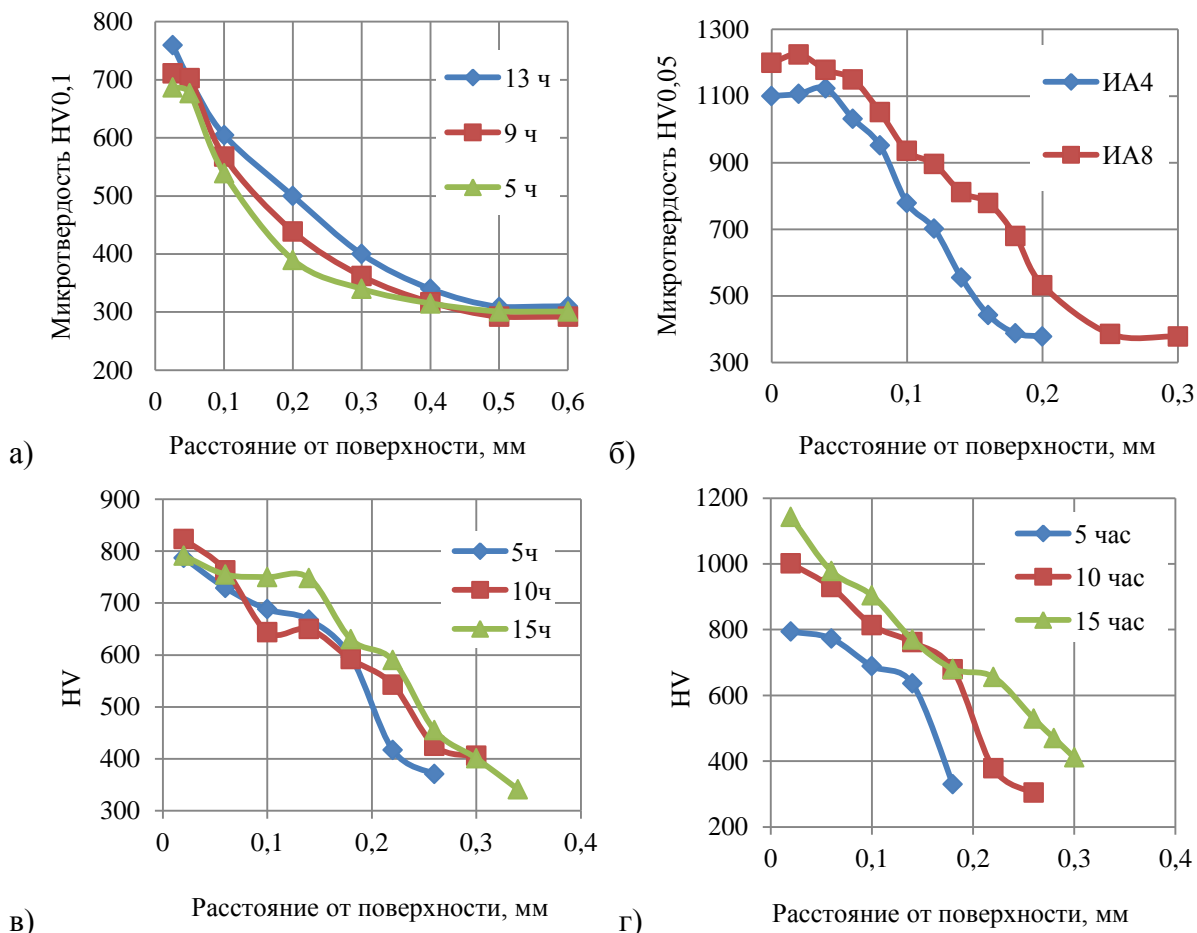


Рис. 2. Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя после азотирования при температуре 540 °С различных сталей:  
а) 30XГСА; б) 32X2МЮА; в) ВКС-7; г) ВКС-10

Лимитирующей стадией при азотировании исследуемых сталей является диффузионная, что подтверждается параболической зависимостью параметров диффузионных слоев от времени насыщения (рис. 3). Представленная на рисунке 4 диаграмма иллюстрирует способность к диффузионному насыщению азотом сталей различного химического состава.

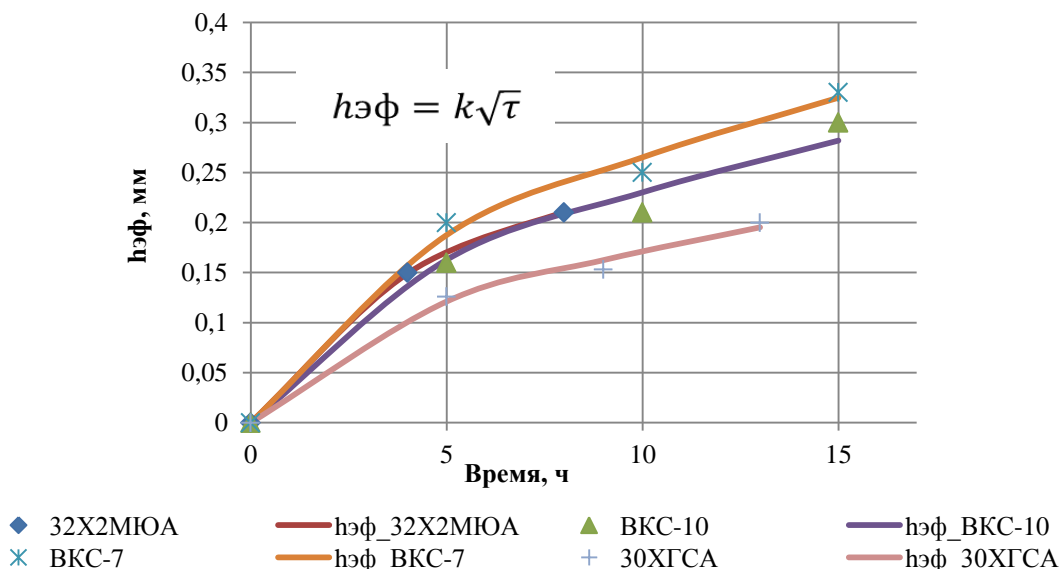


Рис. 3. Кинетика роста диффузионного слоя

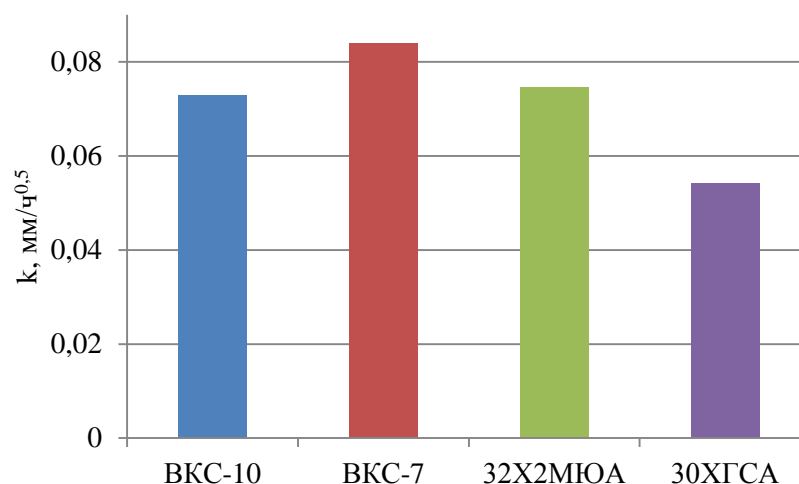


Рис. 4. Влияние состава сталей на кинетический коэффициент

Анализ полученных результатов дал возможность сравнить способность к диффузионному насыщению исследуемых сталей. Увеличение времени выдержки способствует росту эффективной толщины диффузионного слоя сталей при азотировании в тлеющем разряде. Получена параболическая зависимость толщины диффузионного слоя от времени насыщения.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность преподавателю кафедры «Материаловедение», доценту, к.т.н Людмиле Петровне Фоминой за оказанную техническую помощь при написании настоящей статьи.

### Литература

1. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – 1965.
2. Лахтин Ю. М., Коган Я. Д. Азотирование стали. – Машиностроение, 1976.
3. Герасимов С.А., Мухин Г.Г., Герасимова Н.Г. Современные представления о структуре азотированных сталей. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2002.
4. Ryzhov N.M., Fakhurtdinov R.S., Smirnov A.E., Fomina L.P. analysis of methods of carburizing of gears from heat-resistant steels // Metal science and heat treatment. – 2010. – № 6 – S. 31-36

### УДК 621.9.025

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА

Сергей Ренатович Имангулов

Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»  
Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: А.В. Чихранов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»



Одним из путей повышения работоспособности режущего инструмента является нанесение износостойких покрытий, полученных методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ). Наибольшую эффективность при этом имеют покрытия сложного состава на основе нитрида титана, легированного алюминием, молибденом, хромом, железом и др. Данные работ [1,2] и проведенные исследования [3] показывают, что легирование покрытия TiN приводит к изменению структурных параметров (периода кристаллической решетки  $a$ ; полуширины рентгеновской линии  $\beta_{111}$ ) и механических свойств (остаточных напряжений  $\sigma_0$ ; микротвердости  $H_{\mu}$ ; коэффициента отслоения  $K_0$ ) материала покрытия и, как следствие, повышению работоспособности режущего инструмента (снижению интенсивности износа  $J$ ) (табл. 1).

Таблица 1. Структурные, механические свойства и интенсивность износа режущего инструмента с износостойкими покрытиями

Покрытие	$a$ , нм	$\beta_{111}$ , град	$\sigma_0$ , МПа	$H_{\mu}$ , ГПа	$K_0$	$J \cdot 10^{-4}$ мм/м
TiN	0,4235/0,4254	0,49/0,44	-775/-1501	29,16/28,86	1,07/0,37	0,377/1,988
TiAlN	0,4230/0,4233	0,57/0,53	-902/-2443	38,39/37,63	0,91/0,30	0,249/1,027
TiMoN	0,4251/0,4261	0,53/0,52	-1073/-2682	34,90/34,28	1,93/0,84	0,254/1,363
TiCrN	0,4224/0,4238	0,60/0,53	-1490/-2776	34,50/33,98	1,46/0,50	0,261/1,340
TiFeN	0,4234/0,4246	0,51/0,50	-697/-1270	33,18/32,80	0,82/0,31	0,276/1,426
TiAlMoN	0,4226/0,4230	0,64/0,63	-1197/-3100	43,96/43,57	1,44/0,54	0,206/0,861
TiAlCrN	0,4214/0,4214	0,68/0,64	-1628/-3394	46,48/46,02	1,22/0,40	0,188/0,742
TiAlFeN	0,4214/0,4222	0,66/0,62	-804/-1933	43,73/43,45	0,74/0,23	0,201/0,782

Примечание: в числителе приведены значения, полученные для твердого сплава МК8, в знаменателе – для быстрорежущей стали P6M5K5

Как видно из табл. 1, действие легирующих элементов на механические свойства покрытия различно. Во всех случаях покрытия сложного состава имеют большую микротвердость, что связано с твердорастворным упрочнением материала покрытия. Легирование молибденом и хромом ведет к увеличению уровня сжимающих остаточных напряжений, но при этом снижается прочность сцепления покрытия с инструментальной основой, что проявляется в увеличении коэффициента отслоения. Легирование железом увеличивает прочность сцепления с инструментальной основой и снижает величину остаточных сжимающих напряжений. Легирование алюминием повышает прочность сцепления с инструментальной основой и уровень сжимающих напряжений. Наличие одновременно двух легирующих компонентов приводит к большему изменению периода кристаллической решетки, повышению значения  $\beta_{111}$ , что свидетельствует об увеличении степени микродеформации кристаллической решетки и, как следствие, повышению микротвердости. Микротвердость сложнолегированных покрытий в зависимости от химического состава увеличилась на 14-21% по сравнению с покрытием TiAlN.

Наличие в покрытии молибдена и хрома ведет к увеличению остаточных сжимающих напряжений в 1,18-1,8 раза в зависимости от химического состава и инструментальной основы по сравнению с базовым покрытием TiAlN и в 1,09 - 1,22 раза по сравнению с покрытиями TiMoN и TiCrN соответственно. При этом снижается прочность сцепления с инструментальной основой о чем свидетельствует повышение коэффициента отслоения на 20-80%. Использование в покрытии в качестве легирующего элемента железа снижает уровень остаточных сжимающих напряжений на 12% и повышает прочность сцепления в 1,23 раза по сравнению с покрытием TiAlN.

Исследование работоспособности режущего инструмента с покрытиями показало, что использование покрытий с одним легирующим элементом приводит к снижению интенсивности износа в 1,4...1,9 раза по сравнению с применением покрытия TiN, в то

время как для покрытий сложного состава эта величина снижается в 1,8...2,7 раза в зависимости от состава покрытия.

### **Литература**

1. *Чихранов А.В.* Повышение работоспособности режущего инструмента путем разработки и применения многоэлементных износостойких покрытий на основе модифицированного нитрида титана. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 314 с.
2. *Табачков В.П., Чихранов А.В.* Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора параметров состава износостойкого покрытия // Станки и инструменты, 2016. – №3. – С.14-18.
3. *Табачков В.П., Чихранов А.В., Гатауллов И.Н.* Разработка технологии нанесения многоэлементных износостойких покрытий на основе нитрида титана // Научные технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: Материалы IV Международной научно-технической конференции. В 2-х частях. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2012. – Ч.1. – С142-147.

### **УДК 621**

## **ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩЕГО, ОБЛАДАЮЩЕГО ЭФФЕКТОМ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Вероника Евгеньевна Кабанцева

*Магистр 1 курса,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: А.И. Плохих,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение».*

Традиционные полимерные композиционные материалы на данный момент обладают одним серьёзнейшим недостатком: они являются реактопластами, что в свою очередь означает, что механические повреждения в композиционных материалах на их основе, такие как отслоения волокон от матрицы, микротрещины, повреждения поверхностного слоя и другие не поддаются ремонту. Поэтому, в последние годы в индустрии наносистем не прекращаются попытки создания полимеров и полимерных композиционных наноматериалов, способных к самовосстановлению. Подобные материалы должны быть способны самостоятельно «залечивать» трещины и другие дефекты, возникающие в процессе производства или эксплуатации изделия.

Существует как минимум два принципиально отличающихся подхода к созданию таких материалов: «примесное» и «беспримесное» самовосстановление. Первый подход предполагает внедрение залечивающих добавок в обычный полимерный материал. Компонентами таких добавок обычно являются сферические капсулы или полые трубки, наполненные жидкими мономером или олигомерами, которые разрушаются при образовании трещины, жидкие компоненты растекаются и полимеризуются под действием отвердителя или катализатора, заранее введенных внутрь композита.

Беспримесное самовосстановление предполагает создание такого материала, который был бы способен заново образовывать химические связи между поверхностями трещины, за счет наличия внутри полимера специально подобранных функциональных групп. Для создания таких систем необходимо, чтобы мономерные компоненты материала были полностью или частично полимеризованы за счет обратимой, в определенных условиях, реакции. Тогда, в случае повреждения, материал может быть подвергнут частичной деполимеризации с высвобождением фрагментов, заполняющих трещину, с последующей обратной полимеризацией в шитое состояние. Такой подход представляется более перспективным, чем «примесный», и позволяет сделать восстановление контролируемым и многократным, однако связан с необходимостью создания сложной многокомпонентной системы.

На основе анализа литературных данных выяснено, что наиболее перспективной обратимой реакцией для создания самовосстанавливающегося материала будет 4+2 циклоприсоединение между парой фуран-малеимид. Прямая реакция Дильса-Альдера между различными фурановыми соединениями и замещенными малеимидами обычно протекает в области 20-70 °С, обратная – 90-130°С, что позволяет рассчитывать на создание материала, отверждаемого при относительно невысоких температурах с термостойкостью, превышающей 100 °С.

На данном этапе были разработаны подходы к синтезу специальной полимерной основы с фурановым циклом в составе, которая будет способна связываться с залечивающим компонентом – бисмалеимидом. Проведены оценочные эксперименты по самовосстановлению специально разработанных связующих на основе фурана и бисмалеимида.

Продукт предназначен для повышения надежности и эксплуатационной эффективности различных видов техники, конструкций и сооружений, в которых применяются полимерные композиционные материалы, а также лакокрасочных покрытий. Самовосстанавливающиеся материалы могут позволить увеличить срок службы изделия на 30 – 40 %, и сократить расходы на его эксплуатацию из-за снижения аварийности и снижения ремонтных мероприятий, выполняемых в осложненных условиях.

## Литература

1. TIAN Q. et al. A thermally remendable epoxy resin //Journal of material chemistry. – 2009. – Т. 19. – №. 9. – С. 1289-1296.
2. Ying Yanga, Marek W. Urban Self-healing polymeric materials // Chemical Society Reviews. 2013. №17.
3. D.G.Bekas, K.Tsirka, D.Baltzis, A.S.Paipetis Self-healing materials: A review of advances in materials, evaluation, characterization and monitoring techniques // Composites Part B: Engineering. 2016. №87. С. 92-118.
4. Dong Yang Wu, SamMeure, DavidSolomon Self-healing polymeric materials: A review of recent developments // Progress in Polymer Science. 2008. №33. С. 479-522.

УДК 621.9.025

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛА  
ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ КВАЗИХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ**

Александр Александрович Кислов

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»  
Ульяновский государственный технический университет**Научный руководитель: А.В. Чихранов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и  
инструменты»*

В механике разрушения для оценки сопротивления хрупких материалов процессам развития трещины используют понятие критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$ . Выражение для его определения получено на основании математического анализа распространения в непрерывной упругой среде бесконечно острой трещины при абсолютно хрупком разрушении материала, т. е. при условии, что у вершины трещины отсутствует проявление его пластических свойств. В то же время в работах [1, 2] отмечается, что хрупкому разрушению реальных материалов всегда предшествует определенная пластическая деформация, возникающая около ее вершины. Величина зоны пластических деформаций и ее интенсивность зависят прежде всего от материала. Для учета запаса пластичности материала при развитии трещины используют понятие вязкости разрушения  $K_{ICП}$ . При этом для расчета величин  $K_{IC}$  и  $K_{ICП}$  применяют одно и то же уравнение:

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{1-\nu^2}} \quad K_{ICП} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{1-\nu^2}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости первого рода;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\gamma$  – поверхностная энергия твердого тела, Дж/м<sup>2</sup>;  $\gamma_s$  – эффективная поверхностная энергии, Дж/м<sup>2</sup>, равная сумме поверхностной энергии твердого тела  $\gamma$  и удельной работы пластической деформации материала у конца трещины  $\gamma_{пл}$ .

При исследовании прочностных свойств относительно хрупких материалов более часто используют величину критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$ . Использование такой характеристики объясняется простотой ее расчета. Кроме того, считается, что вклад работы  $\gamma_{пл}$ , затрачиваемой на пластическую деформацию материала у конца трещины, невелик и можно считать, что  $\gamma_s \approx \gamma$  (или, соответственно,  $K_{ICП} \approx K_{IC}$ ).

В работе была произведена оценка величин критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  и вязкости разрушения  $K_{ICП}$  износостойких покрытий на основе нитрида титана, полученных методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) [3]. Расчет величин  $K_{IC}$  и  $K_{ICП}$  проводили по методике, предложенной в работе [4]. Результаты расчета для различных покрытий представлены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, величина вязкости разрушения  $K_{ICП}$  больше критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  в 3,4...3,7 раза. Это свидетельствует об упруго-пластическом разрушении материала покрытия при развитии в нем трещин. При этом около 80% энергии разрушения затрачивается на работу пластической деформации материала у конца трещины ( $\gamma_{пл}$ ) и только около 20% на образование свободных поверхностей (берегов трещины). Поэтому для расчета сопротивления процессам развития трещины материалов износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана необходимо использовать величину

вязкости разрушения  $K_{ICSP}$ , а не критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$ . Последний может лишь служить для грубой предварительной оценки на начальном этапе выбора материала износостойкого покрытия.

Таблица 1. Сравнительные характеристики покрытий

Наименование покрытия	Критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{IC}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	Вязкость разрушения $K_{ICSP}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
TiN	3,39	12,29
TiAlN	4,07	14,77
TiZrN	4,22	14,44
TiSiN	3,88	14,46
TiFeN	3,67	12,59
TiCrN	3,80	13,04
TiMoN	3,96	13,84

Следует также отметить, что для покрытий сложного состава наблюдается увеличение как значения критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  (на 8...25%), так и величины вязкости разрушения  $K_{ICSP}$  (на 2...20%), что показывает их более высокие способности к сопротивлению квазихрупкому разрушению.

### Литература

1. *Кремнев Л.С.* Критический коэффициент интенсивности напряжения и вязкость разрушения высокопрочных инструментальных материалов // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1996. – №1. – С. 30 – 35.
2. *Пестриков В.М., Морозов Е.М.* Механика разрушения твердых тел: курс лекций. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.
3. *Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В., Чихранов А.В.* Износостойкие покрытия для поверхностного упрочнения режущих инструментов // *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2005. – №8. – С. 21-26.
4. *Табаков В.П., Чихранов А.В.* Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Том. 12. № 4. С. 292–297.

**УДК 669.715:621.785.6**

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si

Анастасия Алексеевна Климкина

*Студент 4 курса, бакалавриат,*

*Кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Пахомова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

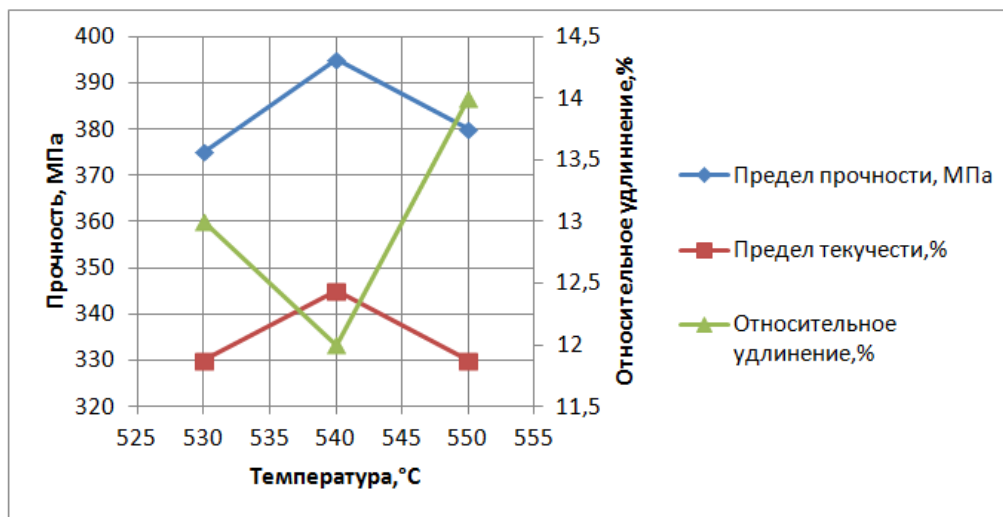
Известно, что на сегодняшний день самым распространенным способом получения максимальных прочностных свойств авиалей является закалка и последующее искусственное старение, которые обычно проводят при температуре 160...170 °С в течение 10...12 ч. Искусственное старение позволяет повысить прочность авиалей по сравнению с ее значением после естественного старения дополнительно на 30...50 %. В тех случаях, когда от сплавов не требуется максимальная прочность, и более важным для

повышения работоспособности изделий является наличие у них высокой пластичности и большой разности между  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$ , применяют искусственное старение при меньшей, чем указано выше, температуре.

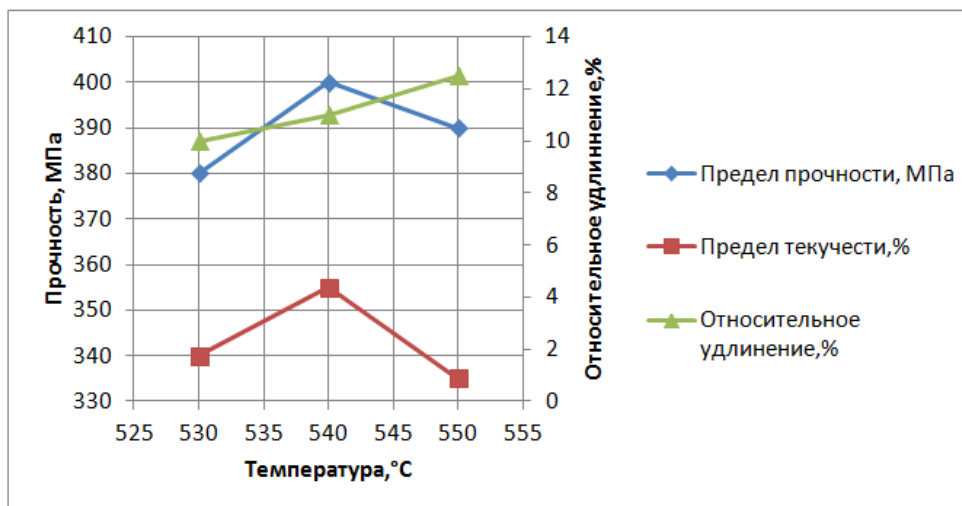
Целью работы является исследование влияния легирующих элементов и термообработки на структуру и свойства сплава системы Al-Mg-Si. Для этого была проведена отливка образцов с разным химическим составом, которые впоследствии подвергали разным вариантам термической обработки. На образцах измеряли предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение. В результате были получены зависимости распределения вышеперечисленных характеристик от температуры термической обработки, представленные на рис. 1. Химический состав образцов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав образцов

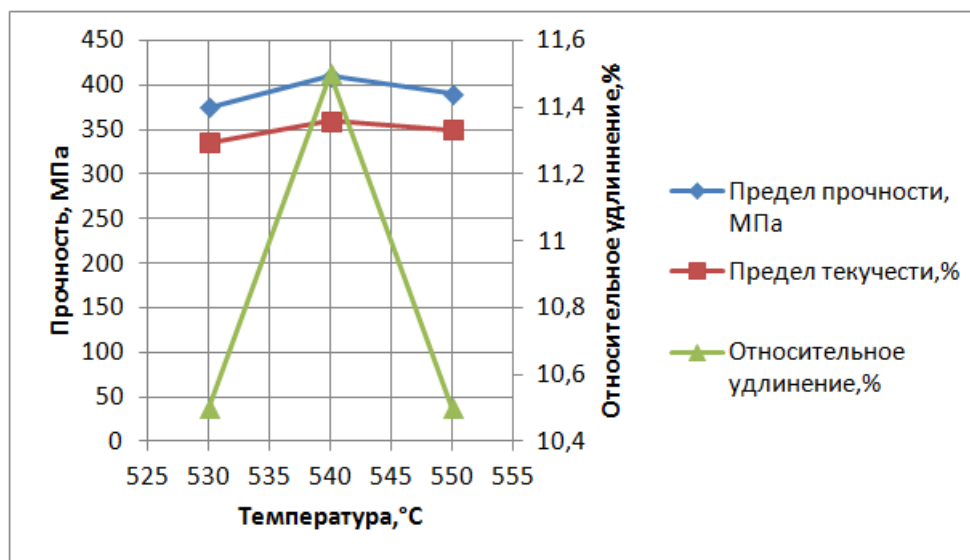
№	Al	Mg	Si	Cu	Zn	Mn	Zr	Cr	Ti	Ni	V	Fe
4		0,8-1,5%	0,3-1,0%	0,3-1,9%	-	0,3-1,5%	0,1-0,5%	0,1-1%	-	-	-	0,01-1%
6		0,8-1,5%	0,3-1,0%	0,3-1,9%	0,1-0,5%	0,3-1,5%	-	0,1-1%	0,1-1,5%	0,15	-	0,01-1%
9		0,8-1,5%	0,3-1,0%	0,3-1,9%	-	0,3-1,5%	0,1-0,5%	0,1-1%	-	-	0,1	0,01-1%



а



б



в

Рис.1. Зависимости временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения от температуры закалки сплавов системы Al-Mg-Si: сплав № 4 (а), сплав № 6 (б), сплав № 9 (в)

**Заключение.** Наиболее высокие показания временного сопротивления и предела текучести у сплавов были получены после закалки с нагревом до температуры 540 °С в течение 15 минут и старения при 180 °С в течение 8 часов.

### Литература

1. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение. Справочник. / под. общ. ред. *И.Н.Фриляндера*. - Киев: Машиностроение. - 2005. – 365с.
2. Материаловедение. Учебник для вузов/ *Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова*. 2001 г. - 358с.

**УДК 544.6**

**ИОННО-ТРАНСПОРТНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ КЕРМЕТОВ  
(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,8</sub>(Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,2</sub> – Ag – In**

Василиса Сергеевна Ковалева

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Ю. Сапронов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

*С.В. Федоров,*

*кандидат химических наук, Институт металлургии и материаловедения им. А. А.*

*Байкова РАН*

Современные тенденции электрохимического и мембранного материаловедения нацелены главным образом на понижение рабочих температур эксплуатации применяемых устройств при сохранении функциональных транспортных характеристик, присущих высокотемпературным системам [1-2]. Как сообщается, такой подход приведет к большей долговечности электрохимических устройств в процессе длительной эксплуатации, их последующей рентабельности и массовости [3, 4].

Так, среди среднетемпературных ионно-транспортных мембранных материалов для получения кислорода из воздуха наиболее впечатляющие транспортные показатели при 500-700 °С демонстрируют керметы, где в качестве электропроводящего компонента выступает серебро, а в качестве кислород-ионопроводящего – стабилизированный оксид висмута [5]. При этом основной проблемой, затрудняющей практическое использование таких керметов в современных сепараторах и генераторах чистого кислорода, является неустойчивость взаимопроникающей структуры металлической и керамической составляющих в процессе эксплуатации. Это сопровождается утратой непрерывной связности по серебру в объеме по причине коагуляции частиц серебра, в результате чего наблюдается значительное ухудшение производительности мембран. Другой проблемой таких керметов может стать сложность сохранения высокой плотности и селективности мембран при нагреве за счет различия в коэффициентах термического расширения керамической и металлической компонентов.

В настоящей работе предложен способ получения методом горячего прессования высокоплотных керметных материалов (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,8</sub>(Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,2</sub>-Ag-In, лишенных проблемы нежелательной деградации микроструктуры и транспортных свойств в процессе длительной эксплуатации. Это было достигнуто за счет введения модифицирующей добавки In, которая совместима с (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,8</sub>(Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,2</sub>, а также гомофильна по отношению к Ag. Кроме того, In выступает в качестве пластификатора в процессе горячего прессования. Была подобрана методика получения газоплотных керметных материалов на основе стабилизированного оксида висмута и серебра, изучены их микроструктура, электропроводность и проницаемость по кислороду. Компактирование керметных мембран проводили с помощью установки горячего прессования (HP20-3560-20, Thermal Technology Inc., США) в условиях вакуума при 780 °С в течение 1 ч с усилием 6 МПа. Отжиг спрессованных образцов проводили на воздухе при 500, 600 и 700 °С в течение 24 ч. Измерение пористости и кажущейся плотности образцов определяли методом гидростатического взвешивания. Микроструктуру изучали с помощью оптической микроскопии (GX51, Olympus, Япония). Электропроводность измеряли двухзондовым методом с помощью потенциостата (1285A, Solartron, США). Проницаемость по



кислороду и селективность мембран изучали в специально сконструированной ячейке с помощью газового хроматографа (Кристаллюкс-4000М, ООО «НПФ «Мета-хром», Россия). В результате работы было установлено оптимальное содержание металлической фазы (30 масс.%) в материале, при котором достигаются высокие значения проницаемости по кислороду ( $5 \cdot 10^{-9}$  моль·см<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup>) и электронной проводимости ( $\sim 10^3$  См/см) при 700 °С. Таким образом, предложенная методика позволяет получить газоплотные керметные мембраны для получения чистого кислорода, которые превосходят по селективности изготовленные традиционным керамическим методом керметные мембраны.

#### Литература:

1. V.V. *Belousov*. Next-Generation Electrochemical Energy Materials for Intermediate Temperature Molten Oxide Fuel Cells and Ion Transport Molten Oxide Membranes// American Chemical Society, 50 (2017) 273.
2. А. Б. *Ярославцев*. Основные направления разработки и исследования твердых электролитов // *Успехи химии*. 85 (2016) 1255.
3. N. *Mahato*, A. *Banerjee*, A. *Gupta*, S. *Omar* and K. *Balani*. Progress in material selection for solid oxide fuel cell technology: A review // *Prog. Mater. Sci.* 72 (2015) 141.
4. E. D. *Wachsman*, K. T. *Lee*. Lowering the temperature of solid oxide fuel cells // *Science*. (2011) 334 935.
5. J. *Sunarso*, S. *Baumann*, J. M. *Serra*, W. A. *Meulenber*, S. *Liu*, Y. S. *Lin*, and J. C. *Diniz da Costa*. Ceramic membranes with mixed conductivity and their application. // *Membr. Sci.* (320) 2008 13.

#### УДК 621.793.6

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛЕЙ 30ХГСА, 38Х2МЮА, 40Х ПОСЛЕ МЕХАНО-ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вячеслав Сергеевич Комаров

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Н. Симонов, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Материаловедение и технологии новых материалов»*

Одной из актуальных и исследуемых проблем в области машиностроения является повышение надёжности и долговечности узлов трения. К деталям машин, работающим в парах трения в условиях интенсивного изнашивания, циклических нагрузок и вибраций, предъявляются требования по значительной износостойкости наружной трущейся поверхности с одновременно высокой динамической прочностью всего изделия.

Перспективным в этом отношении представляется создание новых и дальнейшее совершенствование существующих технологических методов упрочнения материалов и деталей, позволяющих существенно повышать важнейшие эксплуатационные свойства, практически не влияя на конструкцию и размеры деталей.

В настоящей работе рассмотрены свойства и структура сталей 30ХГСА, 38Х2МЮА, 40Х после механо-химико-термической обработки: деформирующего резания и карбонитрации при 580 °С в течение 2.5 часов, исследована микроструктура образцов. Проведены триботехнические испытания на износостойкость, где выявлены сравнительные данные по величине линейного износа и интенсивности изнашивания испытуемых образцов.

### Литература

1. Васильев С.Г., Поцов В.В. Повышение твёрдости поверхности детали термическим воздействием с использованием деформирующего резания // жур. Извумаш №12 2011.
2. Зубков Н. Н., Овчинников А. И., Васильев С. Г., Симонов В. Н., Хасянов М. А. Способ упрочнения поверхности детали: пат. 2015202 РФ. Опубл. 30.06.1994.

**УДК 621.785.53:669.018.584**

### **УПРОЧНЕНИЕ СПЛАВА 40ХНЮ-ВИ ПУТЕМ АЗОТИРОВАНИЯ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ**

Илья Павлович Королев<sup>(1)</sup>, Дин Кай Цзянь<sup>(2)</sup>

*Магистр 2 года<sup>(1)</sup>, аспирант<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.Ю.Семенов,  
доктор технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Несущая способность деталей подшипников определяется комплексом эксплуатационных свойств, основными из которых являются контактная выносливость, а также сопротивление абразивному и адгезионному изнашиванию. При этом важным фактором повышения контактной выносливости является снижение касательных напряжений в приповерхностной области путем уменьшения силы трения качения, которая, зависит от твердости поверхности; кроме того, твердость поверхности является ключевым фактором повышения износостойкости контактирующих поверхностей. Предельным случаем адгезионного изнашивания являются схватывание и заедание, которые приводят к полному разрушению трущихся поверхностей. Основным путем предотвращения развития таких явлений также является повышение поверхностной твердости.

В приборостроении нашли применение подшипники из немагнитных прецизионных никелевых сплавов 40ХНЮ-ВИ и 38ХНВЮ-ВИ, легированных большим количеством хрома, а также алюминием и вольфрамом.

Высокотемпературное азотирование в течение небольшого времени приводит к формированию упрочненных слоев протяженностью 40-60 мкм. Длительное азотирование при температуре 540°С формирует развитую зону внутреннего азотирования толщиной 100-140 мкм. Вместе с тем, азотирование повышает твердость поверхности с 720-740 HV после традиционной термической обработки - закалки и старения до 1060-1140 HV в слое толщиной 3-10 мкм после азотирования.

## Литература

1. Семенов М.Ю. Оценка влияния условий трения на контактную выносливость подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из комплексно-легированных теплостойких сталей //Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 70-79.
2. Семенов М.Ю., Рыжова М.Ю. Оценка сопротивления заеданию высоконагруженных зубчатых колес на основе энергетической модели //Технология машиностроения. – 2012. – № 5. – С. 64-69.
3. Krupp U., Christ H.J. Internal nitridation of nickel-base alloys. Part I. Behavior of binary and ternary alloys of the Ni-Cr-Al-Ti system //Oxidation of metals. – 1999. – Vol. 52. – No. 3. – P. 277-298.

УДК 621.9.025

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОДЛОЖКИ

Владислав Брониславович Курамшин

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.В. Чихранов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»*

В настоящее время покрытия различного функционального назначения широко используют для повышения качественных характеристик поверхностей большой гаммы изделий. Среди них можно выделить наноструктурные износостойкие покрытия, осаждаемые физическими способами из паровой среды (ФОП или PVD) [1, 2]. Такие покрытия имеют ряд особенностей – высокие твердость, трещино- и износостойкость при малой толщине (5...10 мкм). В связи с этим возникает ряд трудностей с определением физико-механических свойств таких покрытий.

Одним из способов исследования свойств покрытий является использование процесса индентирования. Здесь, помимо классических методов измерения твердости, в настоящее время применяются и другие методы использования различных сочетаний нагрузок и форм индентора [3]. Однако даже для таких методов измерения малая толщина покрытий оказывает дополнительное влияние на результат испытаний [3, 4]. В работах [4, 5] для измерения твердости была предложена зависимость, позволяющая нивелировать влияние подложки путем экстраполяции на нулевую толщину:

$$H_{\mu} = H_0 + \frac{H_n - H_0}{1 + \frac{h_n^2}{\alpha h}}, \quad (1)$$

где  $H_{\mu}$  – твердость системы «покрытие – подложка», Па;  $H_0$  – твердость подложки, Па;  $H_n$  – твердость покрытия, Па;  $h_n$  – глубина проникновения индентора, м;  $h$  – толщина покрытия, м;  $\alpha$  – коэффициент, м.

Учитывая пропорциональную зависимость между замеренной длиной диагонали отпечатка и глубиной проникновения индентора, а также упрощая зависимость (1) можно получить:

$$H_{\mu} = H_0 + \frac{H_n - H_0}{1 + cd^2}, \quad (2)$$

где  $d$  – диагональ отпечатка индентора, м;  $c$  – коэффициент, м<sup>2</sup>.

Для определения твердости покрытия  $H_p$  необходимо измерить твердость системы «покрытие – подложка» при нескольких нагрузках и, зная геометрические размеры индентора и твердость подложки  $H_0$  (в работе исследовали твердый сплав ВК6 – 17,05 ГПа и быстрорежущую сталь Р6М5К5 – 8,70 ГПа), можно найти истинную твердость покрытия. Измерение микротвердости системы «подложка – покрытие»  $H_\mu$  по восстановленному отпечатку проводили на приборе Mitutoyo NH 125 с использованием пирамиды Виккерса. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью математических пакетов Mathcad 14.0 и Microsoft Excel 2007. Была разработана программа для расчета истинной микротвердости путем использования функции регрессии общего вида.

В табл. 1 представлены данные, полученные при измерении микротвердости тонких покрытий на основе нитрида титана.

Таблица 1. Микротвердость ионно-плазменных покрытий

Наименование покрытия	Микротвердость системы «покрытие – подложка» $H_\mu$ , ГПа, при нагрузке, Н				Микротвердость покрытия $H_p$ , ГПа
	0,49	0,98	1,47	2,06	
TiN	28,42 / 27,96	27,84 / 27,02	27,04 / 26,20	26,50 / 25,20	29,16 / 28,86
TiAlN	37,59 / 36,34	36,67 / 36,04	36,01 / 34,41	35,08 / 33,36	38,39 / 37,63
TiZrN	37,98 / 36,63	37,37 / 36,35	36,44 / 35,19	35,62 / 33,67	38,85 / 37,93
TiSiN	33,93 / 33,59	33,09 / 32,30	32,31 / 31,51	31,66 / 30,72	34,67 / 34,34
TiFeN	32,01 / 31,74	31,53 / 31,05	30,95 / 30,52	29,35 / 28,90	33,18 / 32,80
TiCrN	33,62 / 33,09	32,99 / 32,47	32,21 / 31,58	31,29 / 30,61	34,50 / 33,98
TiMoN	34,09 / 33,60	33,49 / 33,0	32,43 / 31,72	31,91 / 31,56	34,90 / 34,28
В числителе указаны данные для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали					

Из полученных результатов видно, что влияние подложки снижается при уменьшении величины нагрузки. Поэтому в процессе определения микротвердости необходимо обязательно учитывать толщину покрытия и величину приложенной нагрузки для исключения влияния подложки и получения достоверных результатов.

### Литература

1. Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 255 с.
2. Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора параметров состава износостойкого покрытия // Станки и инструменты, 2016. – №3. – С.14-18.
3. Головин Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твёрдых тел в субмикрообъёмах, тонких приповерхностных слоях и плёнках // ФТТ. – 2008. – Т. 50. – Вып. 12. – С. 2113-2142.
4. Баринов С.М., Де Мариа Д., Ферро Д. Измерение твердости тонких керамических пленок // Заводская лаборатория, 2001. – №11. – С. 42 – 47.
5. Табаков В.П., Чихранов А.В. Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Том. 12. № 4. С. 292–297.

**УДК 548.33**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ**

Мария Сергеевна Максимова

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Пучков,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Создание современных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) потребовало разработки новых высокожаропрочных сплавов и перехода от равноосной кристаллической структуры литых лопаток турбины к лопаткам с направленной и монокристаллической структурой. Это вызвано необходимостью повысить температуру рабочего газа на входе в турбину с 1500-1550 до 1700-1750 К. Повышение рабочей температуры лопаток турбины, которые в значительной мере определяют надежность и ресурс двигателя, сделало весьма актуальной задачу обеспечения их высокой жаростойкости (сопротивление газовой коррозии), т.е. способности противостоять воздействию на их поверхность внешней окислительной среды при высоких температурах. В современной технике достаточно высокий уровень жаростойкости является одним из важных требований, предъявляемых к сплавам для рабочих лопаток ГТД, поскольку поверхностное окисление лопаток приводит к уменьшению сечения самих лопаток, изменению структуры и состава их поверхностных слоев. В свою очередь это вызывает снижение таких важных свойств материала как сопротивление усталости и термостойкости. Сопротивление поверхности литых лопаток турбины высокотемпературному окислению является неременным условием их высокой эксплуатационной надежности.

Целью данной работы является анализ и изучение влияния примеси серы и защитных покрытий на жаростойкость никелевых жаропрочных сплавов.

Исследования жаростойкости проводились металлографическим, рентгеноструктурным, дюротометрическим, гравиметрическим и потенциодинамическим методами.

Показано, что снижение содержания серы до 0,0002 % мас., а также введение в сплав, содержащий повышенное количество серы (0,00072% мас.), микродобаки лантана в количестве 0,2 % мас. значительно увеличивают жаростойкость сплава при температуре испытания 1150 °С.

После испытания продолжительностью 530 часов, покрытие сохранилось, а в сплаве произошли необратимые изменения в структуре - рафтирование  $\gamma'$ -фазы и образование ТПУ фаз.

Таким образом, при изготовлении сплава рекомендуется использовать ультрачистые по содержанию серы лигатуры, а при изготовлении лопаток с добавлением скрапа, содержащего повышенное количество серы, использовать микролегирование добавками лантана.

**Литература:**

1. *Мартин Дж., Доэрти Р.* Стабильность металлических систем / Пер. с англ. – М.: Атомиздат. 1978. 280 с.
2. *Бокиштейн Б.С., Бокиштейн С.З., Жуховицкий А.А.* Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах. – М.: Металлургия. 1974. 279 с.
3. *Светлов И.Л., Олдаковский И.В., Петрушин Н.В., Игнатова И.А.* Концентрационная зависимость периодов решеток  $\gamma$ - и  $\gamma'$ -фаз никелевых жаропрочных сплавов // *Металлы*. 1991. №6. С. 150–157.
4. *Петрушин Н.В., Игнатова И.А., Логунов А.В.* и др. Исследование влияния размерного несоответствия параметров кристаллических решеток  $\gamma$ - и  $\gamma'$ -фаз на характеристики жаропрочности дисперсионно-твердеющих никелевых сплавов // *Изв. АН СССР. Металлы*. 1981. №6. С. 153–159.
5. *Erickson G.L., Harris K.* DS and SX superalloys for industrial gas turbines // *Materials for Advanced Power Engineering. Part II. Proc. of a Conf. Belgium, 3–6 okt. 1994.* – Kluwer Academic Publishers. 1994. P. 1055–1074.
6. *Erickson G.L.* A new third generation single crystal, casting superalloy // *J. of Metals*. 1995. V. 47. April. N 4. P. 36–39.
7. *Ross E.W., O'Hara K.S.* RENE N4: A first generation single crystal turbine airfoil alloy with improved oxidation resistance, low angle boundary strength and superior long time rupture strength // *Superalloys 1996*. Ed. R.D. Kissinger, D.J. Deye, D.L. Anton et al. A Publication of the Minerals, Metals. Materials Society. Seven Springs Mountain Resort, Champion, Pennsylvania. 1996. P. 19–25.
8. *Понамарев Б.А.* Настоящее и будущее авиационных двигателей. М.: Воениздат, 1982. 396 с.
9. *Мубояджян С.А.* Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток ГТД // В сб.: *Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технологии, покрытия)*. М.: Наука. 2006. С. 531-608.
10. *Каблов Д.Е., Сидоров В.В., Мин П.Г., Пучков Ю.А.* Влияние лантана на качество и эксплуатационные свойства на качество и эксплуатационные свойства монокристаллического жаропрочного никелевого сплава ЖС36-ВИ // *Труды ВИАМ*. 2015. №12. С. 11-21.
11. Влияние примесей серы и фосфора на малоцикловую усталость монокристаллов жаропрочного сплава ЖС36-ВИ / *Д.Е. Каблов [и др.]* // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 4 (37). С. 25-28.
12. Влияние примесей и лантана на эксплуатационные свойства сплава ЖС36-ВИ. / *Д.Е. Каблов [и др.]* // *Металлургия машиностроения*. 2015. № 6. С. 19-23.
13. Oxidation of Low Sulfur Single Crystal Nickel-base Superalloys / *R.V. Mc Vay [и др.]* // *Superalloys*. 1992. P. 807-816.
14. The control of sulfur content in nickel-base, single crystal superalloys and its effect on cyclic oxidation resistance / *C. Sarioglu [и др.]* // *Superalloys 1996*, p. 71-80.
15. *Tammy M. Simpson, Allen R. Price.* Oxidation improvements of low sulfur processed superalloys // *Superalloys*. 2000. P. 387-392.
16. Ultra low sulfur superalloy casting and method of making : US Patent № 5922148/Irvine Jeffrey D., Vogt Russell G., Bierstine Donald L.; publ. .13, 07.1999.
17. Improved low sulfur nickel-base single crystal superalloy with ppm additions of lanthanum and yttrium: European patent 2415888 Ar /*Harris Kenneth*; publ.14.10.2010Cetel A.D., Duhl D.N. Second generation columnar grain nickel-base superalloy // *Superalloys 1992*. Ed. S.D. Antolovich, R.W. Stusrud, R.A. MacKay et al.

**УДК 22.04.02**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-ZN В ЛИТОМ И ТЕРМООБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ**

Ольга Николаевна Овсянникова

*Магистр 1 года,  
кафедра «Металлургия»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: Г.Х. Шарипзянова,  
доцент кафедры «Металлургия»*

В настоящее время перспективным способом защиты от коррозии металла является протекторная защита.

Подводная часть корпуса судна от спуска на воду и до окончания его срока службы находится под воздействием агрессивной среды - морской воды океанов и морей повышенной солености, солоноватых вод морей и заливов, обособленных от океанов, речных вод. Интенсивное механическое разрушение лакокрасочных покрытий, например, под воздействием льда при плавании судов в арктических широтах или усиленное обрастание подводной части корпусов судов в тропических или экваториальных широтах, сопровождается перфорацией лакокрасочных покрытий обрастателями и усилением скорости коррозии металлов. Поэтому оно не может обеспечить необходимый уровень защиты от коррозии. Благодаря отрицательному стационарному потенциалу алюминиевые протекторные сплавы широко используют в качестве протекторов при защите металлоконструкций, эксплуатирующихся в морской воде, от коррозионного разрушения. Протекторы представляют собой аноды защитных гальванопар, то есть растворяются под действием тока, протекающего в системе протектор - защищаемый металл. Основным недостатком более широкого применения алюминиевых протекторов является их изготовление из алюминия марки не ниже А85. Это обусловлено относительно высоким содержанием примеси железа в алюминиевых протекторных сплавах (более 0,1%).

В настоящее время особенно актуальна проблема получения протекторов с повышенным содержанием примеси железа, например, из вторичных алюминиевых сплавов. Для повышения эффективности и срока службы алюминиевых протекторов необходимо найти способы уменьшения содержания примеси железа или снижения его негативного воздействия на протекторные свойства сплавов.

В работе проведено исследование влияния термической обработки на электрохимические свойства протекторного сплава АП1 с различным содержанием железа.

Технология изготовления сплава заключалась в первоначальном расплавлении алюминия с последующим введением цинка при температуре 700-720°C. Содержание железа обеспечивалось его введением из карбонильного железа в заданном количестве. Благодаря отрицательному рабочему и стационарному потенциалам происходит защита металлоконструкций.

Кроме того, одним из факторов, определяющим срок службы протекторов, является коэффициент полезного использования. На рисунке 1 показана зависимость коэффициента полезного использования сплава типа АП1 с различным содержанием железа, полученная в результате проведенных исследований.

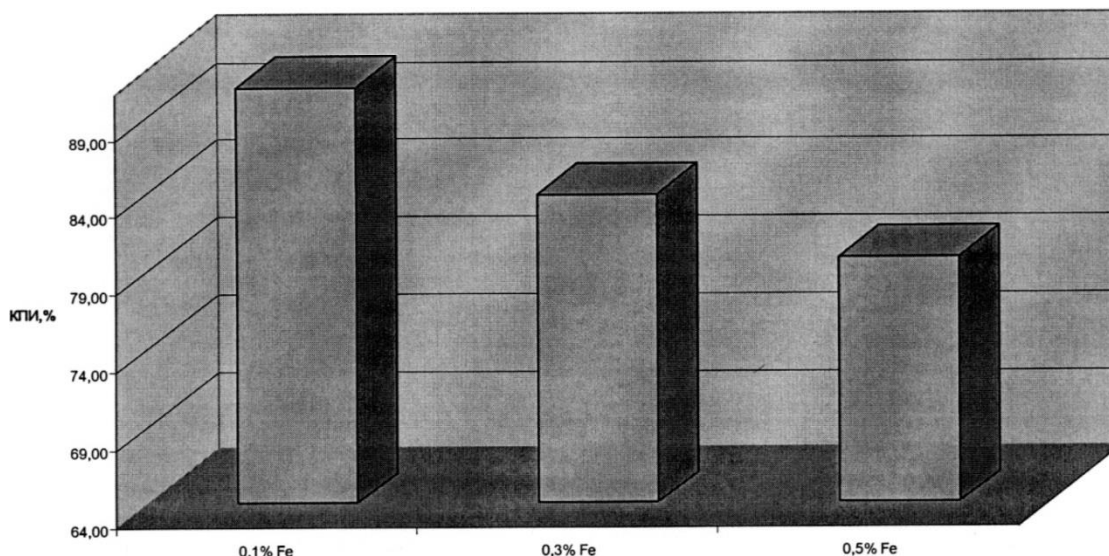


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента полезного использования сплава типа АП1 с различным содержанием железа в литом состоянии

Результаты проведенных исследований показали:

1. Термическая обработка сплава АП1 приводит только к стабилизации коэффициента полезного использования при практической неизменности потенциалов. Очевидно, для малолегированного сплава АП1 применение термической обработки вряд ли будет оправданным.

Исследование влияния различных режимов термической обработки сплава АП1 показало на возможность стабилизации основных протекторных свойств за счет повышения степени их структурной и химической однородности.

2. Во всех случаях термического воздействия на сплавы при незначительном повышении КПИ наблюдается уменьшение разброса его значений. Стационарный потенциал и потенциал при поляризации термообработанных образцов практически остается на уровне значений, отвечающих литому состоянию сплавов.

3. Целесообразность проведения термической обработки сплавов при изготовлении протекторов следует рассматривать с учетом полученных результатов, а также условий их эксплуатации.

### Литература

1. Доклад Мелкозерова В.Ю. «Освоение и производство новых типоразмеров и сплавов протекторов в литейном отделении электролизного цеха».
2. Ларионов Г.В. Вторичный алюминий. - М.: Металлургия, -1967, - 271 с.
3. Кечин В.А. Теория и технология литых протекторных материалов. Монография. Владимир 2004г.
4. А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, В.С. Чулков, Н.И. Графас. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. - М.: Металлургия, - 1980. - 196 с.
5. Бибииков Н.Н., Люблинский Е.Я., Поварова Л.В. Электрохимическая защита морских судов от коррозии. Л., издательство «Судостроение», 1971.
6. Проспект ОАО «АВИСМА» «Протекторная защита».



УДК 621.762.52

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДОВ ВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Кира Сергеевна Панина

*Магистр 1 года*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научные руководитель и консультант:*

*Ю.А. Курганова,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,*

*Ю.В. Николукин,*

*заместитель технического директора АО «НИИ газоразрядных приборов «ПЛАЗМА»*

Электровакуумные приборы применяются в современной технике для преобразования электромагнитных сигналов высокой частоты и большой мощности. Например, для коммутации тока в электрических цепях применяют тиратроны, вакуумные лампы, тиристоры, миниатюрные неуправляемые защитные разрядники [1-3]. Действие электровакуумных приборов основано на явлении электронной эмиссии с поверхности катодов. Катод – это электрод, основным назначением которого является испускание электронов [4]. Следовательно, срок эксплуатации приборов во многом зависит от срока службы катода. Таким образом, задача поиска путей повышения эмиссионных свойств и увеличения ресурса электродов сильноточной вакуумной и плазменной электроники является актуальной.

Согласно данным мониторинга использования катодов, наиболее широкое применение получили оксидные низкотемпературные катоды. Уровень эффективной экономичности составляет 3-5вт/см<sup>2</sup>, а эффективность использования - 100-200ма/см<sup>2</sup> [5]. Материал катода состоит из тугоплавкой основы, связующего металла и эмиссионного компонента, представляющего оксиды элементов II группы, щелочноземельных металлов (в основном барий, кальций стронций) [1].

Одним из рациональных способов получения катодов являются методы порошковой металлургии [6]. Традиционная технология представляет собой совмещение в одном технологическом переходе и получение (синтез) эмиссионного материала из его полуфабриката, и, одновременно, спекание порошковых компонентов электрода в среде водорода [8]. Процесс спекания происходит с обильным газовыделением и приводит к значительной пористости, низкой плотности и малой механической прочности катода. Более того, из-за шероховатой поверхности различные участки катода обладают разной эмиссионной способностью. Поэтому возникает разность потенциалов между разными точками катодной поверхности и электрический разряд между ними [5]. При рабочих режимах сильных токовых потоков (до 100 кА) и в высоконапряженных электромагнитных полях (до 500 кВ) это приводит к вырыванию эмиссионного материала, располагающегося в образованных полостях при синтезе, слабо связанного с тугоплавкой матрицей.

Обозначенные недостатки существующей технологии приводят к снижению ресурса работы катода и приборов сильноточной вакуумной и плазменной электроники в целом.

Одним из решений задачи повышения эмиссионных свойств электродов является снижение пористости материала и увеличение центров эмиссии по объему катода [7]. В данной работе предлагается переход от спекания смеси исходных порошковых компонентов в водородной среде к спеканию их в вакууме при условии предварительной механоактивации смеси. Прогнозируется, что этот технологический подход приведет к более равномерно распределенной структуре материала электрода, уменьшению пор и повышению плотности материала.

Для сравнительного исследования получены образцы по традиционному режиму спекания и усовершенствованному с предварительной механоактивацией порошков.

Исследование свойств [9] экспериментальных образцов и анализ структуры, показали эффективную результативность модернизации технологии, что позволит улучшить эксплуатационные характеристики электродного материала за счет повышения эмиссионной способности электродов и увеличения эксплуатационного ресурса приборов сильноточной вакуумной и плазменной электроники.

### Литература

1. *Ашкинази, Л.А.* Материалы электронных эмиттеров: учебное пособие/ Л.А. Ашкинази. – Москва. – Московский государственный институт электроники и математики (Технический университет), 2007.
2. *Анисимов В. Д., Бельский Д. П., Киселев Ю. В., Яшкова В. М.* Неуправляемые газонаполненные разрядники и перспективы их развития//Электроника: Межвуз. сб. Рязань: РГРТА, 2001. С. 28-32.
3. *Тинина Е. В., Яшкова В. М.* Миниатюрный неуправляемый разрядник для емкостных накопителей энергии//Электроника: Межвуз. сб. Рязань: РГРТА, 2001. С. 43-46.
4. *Попов В. С., Николаев С. А.* Общая электротехника с основами электроники, М., «Энергия», 1972, - 504 с.
5. *Петров К.С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. СПб.: Питер, 2003.
6. *Коваленко В.Ф.* Теплофизические процессы и электровакуумные приборы // М.: Советское радио, 1975, с.215.
7. Эмиссионно-микроскопические и рентгеновские исследования поверхности металлопористого катода / Ю.В. Гурков, А.В. Дружинин, Т.А. Куприянова и др. // Известия АН СССР. Сер. Физическая. 1974. - Т. 38, №11.-С. 22-27.
8. ТУ 1190. Заготовки электродные.
9. ГОСТ 2409-2014 Измерение кажущейся плотности, общей, открытой и закрытой пористости методом гидростатического взвешивания.

**УДК 620.181.41**

### **ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Никита Сергеевич Петухов

*Магистр 1 года*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Плохих*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

В данной работе представлены промежуточные результаты дилатометрических исследований российских аналогов зарубежной стали типа ASTM A606, которые позволили отработать методику построения термокинетических диаграмм на закалочном дилатометре.

Путем нагрева и охлаждения с разной скоростью стальных образцов на специальном дилатометрическом оборудовании были получены диаграммы, по которым определены точки фазовых превращений в исследуемых сталях.

Расшифровка фазовых превращений основывалась на изменении коэффициентов теплового расширения в процессе перехода от одной фазы к другой, то есть в процессе изменения параметров кристаллической решетки.

Для надежности интерпретации расшифровки кривых дополнительно использовался металлографический анализ структуры и измерения твердости по Виккерсу.

По полученным данным построены термокинетические диаграммы превращения аустенита при охлаждении от 950 °С в диапазоне скоростей охлаждения от 0,5 до 200 °С/с и определены критические точки Ас1 и Ас3 при нагреве.

Анализ кинетики фазовых превращений показал, что в структуре металла всех лабораторных плавок основными видами превращения являются феррито-перлитное и бейнитное. В интервале скоростей охлаждения характерных для процесса нормализации (0,5 - 5 °С/с) микроструктура металла исследуемого состава представляет собой преимущественно феррито-перлит. При скоростях выше 30 °С/с, характерных для закалки, структура преимущественно бейнитная. Всего, было исследовано 9 режимов скоростей охлаждения лабораторных плавок.

На основании проведенных исследований разработан и изготовлен специальный закалочный дилатометр с двумя температурными зонами нагрева: до 1000 °С и 500 °С. Дилатометр оснащен высокоточными датчиками линейных перемещений, программой сбора и обработки данных, и специальной оснасткой.

Результаты отработанной методики будут направлены на построение термокинетических диаграмм для бейнитных чугунов.

### **Литература**

1. Попов А.А., Попова А.Е. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита – Москва «Металлургия», 1991. 502 с.
2. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.:Металлургия, 1980 г. – 320 с.

**УДК 544.6.018.462.2**

### **СИНТЕЗ ДВУХСЛОЙНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3/\text{GDC}$ ДЛЯ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Михаил Самирбекович Седов

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Ю. Сапронов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

*Научный руководитель: С.В. Федоров,  
кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории №31  
функциональной керамики ИМЕТ РАН*

Электролит для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) должен быть стабильным как в восстановительных, так и в окислительных средах, должен иметь достаточно высокую ионную проводимость с низкой электронной проводимостью при рабочей температуре ячейки [1]. Кроме того, материал должен быть способен создавать тонкую прочную пленку для сохранения газоплотности. До сих пор стабилизированный цирконий, в частности стабилизированный иттрием диоксид циркония (YSZ), обладающий структурой флюорита, был наиболее предпочтительным электролитом для ТОТЭ, который работает выше 800 °С. Для снижения рабочих температур (600-800 °С) в качестве материала электролита для ТОТЭ были предложены другие ионные проводники, такие как допированный оксид церия (GDC). Однако применение допированного оксида церия выше 600 °С не эффективно из-за появления электронной проводимости со стороны анода (восстановительная атмосфера). Поэтому его следует эксплуатировать ниже 600 °С, однако, при этом снижается его производительность. Решить эту проблему можно созданием двухслойного электролита «GDC|Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>», в котором слой на основе оксида висмута со стороны катода блокирует электронную проводимость [2]. В этой связи целью данной работы являлось получение двухслойного электролита «GDC|Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>» и исследование стабильности границы между GDC и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также измерение производительности единичного топливного элемента «Н<sub>2</sub>|Pt|GDC|Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>|Pt|O<sub>2</sub> (воздух)» при 750 °С. Синтез двухслойного электролита проводился из подготовленных образцов (диски диаметром 25 мм) Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и GDC, спеченные при 600 °С и 1400 °С, соответственно. Диски GDC и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> механически утоняли до 0,5 и 1 мм, соответственно, и полировали с двух сторон. На каждый диск с одной стороны наносили платиновую пасту для получения электродного слоя. Было установлено, что удельная мощность такого топливного элемента (толщина 1,5 мм) достигает 200 мВт/см<sup>2</sup> при плотности тока 400 мА/см<sup>2</sup>. При этом химическое взаимодействие между GDC и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2 масс.% В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в процессе измерения не наблюдалось.

### **Литература**

1. Carrette L., Friedrich K.A., Stimming U. Fuel Cells: Principles, Types, Fuels, and Applications. // Chem. Phys. Chem. – 2000. Vol.1. – No 4. – P. 162-193.
2. Belousov V.V., Fedorov S.V. A highly conductive electrolyte for molten oxide fuel cells. // Chem. Commun. – 2017, Vol.53. – P. 565-568.

**УДК 544.6.018.23:544.6.018.464**

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ NiV<sub>2</sub>O<sub>6</sub> – V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> С ЖИДКОКАНАЛЬНОЙ ЗЕРНОГРАНИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ**

Анна Алексеевна Соловьева

*Магистр 1 года,  
кафедра «Материаловедение»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.В. Кульбакин,  
к.х.н., старший научный сотрудник ИМЕТ РАН*

Одной из современных задач неорганического материаловедения является создание новых материалов ионно-транспортных мембран для получения чистого кислорода, необходимого для нужд микро-, наноэлектроники и фармацевтики [1]. К сожалению, существующие кислородотранспортные материалы мембран (например, кобальто-феррит бария-стронция BSCF [2] или лантана-стронция LSCF [3]) недостаточно химически устойчивы в средней области температур ниже 800 °С ввиду наличия в составе бария и стронция, склонных к сорбции кислых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) из атмосферы [4], а также недостаточно термически устойчивы при циклировании «нагрев-охлаждение» из-за наличия в составе кобальта [5], поэтому актуален поиск новых среднетемпературных материалов мембран, лишенных этих проблем [6].

Недавно в качестве альтернативы существующим мембранным материалам с высокой смешанной ионно-электронной проводимостью в среднетемпературной области были предложены композиты «твердый оксид – расплав» [7-11]. В этих композитах, за счет смачивания твердых зерен расплавом выше температуры плавления эвтектики и формирования жидкочанальной зернограничной структуры [12], решена проблема химической и термической совместимости компонентов. Примером композитов данного типа являются материалы на основе систем  $\text{BiVO}_4 - \text{V}_2\text{O}_5$  [13] и  $\text{ZrV}_2\text{O}_7 - \text{V}_2\text{O}_5$  [14], в которых твердый  $\text{BiVO}_4$  или  $\text{ZrV}_2\text{O}_7$  обладают электронной проводимостью, в то время как расплав – смешанной кислород-ионной и электронной проводимостью. Поскольку в этих композитах уровень кислород-ионной проводимости превышает или сопоставим с уровнем электронной проводимости, для увеличения сопряженной, или амбиполярной проводимости необходимо подобрать схожую систему, но обладающую более высоким уровнем электронной проводимости.

В качестве такого материала в настоящей работе рассматриваются композиты с жидкочанальной зернограничной структурой (ЖЗГС) на основе  $\text{NiV}_2\text{O}_6 - \text{V}_2\text{O}_5$ , поскольку электронная проводимость  $\text{NiV}_2\text{O}_6$  [15] на порядок величины превышает таковую для  $\text{BiVO}_4$  [16] или  $\text{ZrV}_2\text{O}_7$  [17] при тех же температурах. В работе осуществлен синтез фазы  $\text{NiV}_2\text{O}_6$ , композитов  $\text{NiV}_2\text{O}_6 - 20, 25 \text{ мас.}\% \text{ V}_2\text{O}_5$  (объемная доля расплава, согласно фазовой диаграмме системы  $\text{NiO} - \text{V}_2\text{O}_5$  [18], составила ~ 25% и 30%, соответственно), изучены транспортные свойства этих композитов в интервале 680 – 740 °С и оценен потенциал применения этих материалов в качестве ионно-транспортных мембран для получения чистого кислорода из воздуха. Показано, что композит  $\text{NiV}_2\text{O}_6 - 25 \text{ мас.}\% \text{ V}_2\text{O}_5$  обладает высоким коэффициентом селективной проницаемости по кислороду  $2,5 \cdot 10^{-10} - 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ моль} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  при 680-740 °С, сопоставимым с известными аналогами среди материалов ионно-транспортных мембран и может быть применен для выделения кислорода из воздуха.

В будущем планируется увеличить кислородный поток для полученных мембранных материалов путем разработки асимметричной мембраны на пористой подложке, что будет предметом наших дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта У.М.Н.И.К. (№ 0038549 от 15.12.2017).

## Литература

1. Sunarso J., Baumann S., Serra J.M., Meulenbergh W.A., Liu S., Lin Y.S., Diniz da Costa J.C. Mixed ionic-electronic conducting (MIEC) ceramic-based membranes for oxygen separation // J. Membr. Sci. 2008. Vol. 320. P. 13 – 41.
2. Zeng P., Chen Z., Zhou W., Gu H., Shao Z., Liu S. Re-evaluation of  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  perovskite as oxygen semi-permeable membrane // J. Membr. Sci. 2007. Vol. 291. P. 148 – 156.

3. Teraoka Y., Zhang H.M., Furukawa S., Yamazoe N. Oxygen permeation through perovskite-type oxides // Chem. Lett. 1985. No. 11. P. 1743 – 1746.
4. Liu Y., Zhu X., Li M., Liu H., Cong Y., Yang W. Stabilization of low-temperature degradation in mixed ionic and electronic conducting perovskite oxygen permeation membranes // Angew. Chem. Int. Ed. 2013. Vol. 52. P. 3232 – 3236.
5. Ullmann H., Trofimenko N., Tietz F., Stover D., Ahmad-Khanlou A. Correlation between thermal expansion and oxide ion transport in mixed conducting perovskite-type oxides for SOFC cathodes // Solid State Ionics. 2000. Vol. 138. P. 79 – 90.
6. Zhu X., Yang W. Mixed conducting ceramic membranes: fundamentals, materials and applications. – Berlin: Springer. 2017. 367 p.
7. Белоусов В.В., Федоров С.В. Ускоренный массоперенос с участием жидкой фазы в твердых телах // Успехи химии. 2012. Т. 81. С. 44 – 64.
8. Belousov V.V. Electrical and mass transport processes in molten oxide membranes // Ionics. 2016. Vol. 22. P. 451 – 469.
9. Белоусов В.В. Инновационные оксидные материалы для электрохимической конверсии энергии и сепарации воздуха // Успехи химии. 2017. Т. 86. С. 934 – 950.
10. Belousov V.V. Next-generation electrochemical energy materials for intermediate temperature molten oxide fuel cells and ion transport molten oxide membranes // Acc. Chem. Res. 2017. Vol. 50. P. 273 – 280.
11. Belousov V.V., Kulbakin I.V., Fedorov S.V., Klimashin A.A. Novel molten oxide membrane for ultrahigh purity oxygen separation from air // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2016. Vol. 34. P. 22324 – 22329.
12. Belousov V.V. Liquid-channel grain-boundary structures // J. Am. Ceram. Soc. 1996. Vol. 79. P. 1703 – 1706.
13. Belousov V.V., Fedorov S.V., Vorobiev A.V. The oxygen permeation of solid/melt composite  $\text{BiVO}_4 - 10 \text{ wt.}\% \text{ V}_2\text{O}_5$  membrane // J. Electrochem. Soc. 2011. Vol. 158. P. B601 – B604.
14. Кульбакин И.В., Федоров С.В., Воробьев А.В., Белоусов В.В. Транспортные свойства композитов  $\text{ZrV}_2\text{O}_7 - \text{V}_2\text{O}_5$  с жидкочанальной зернограничной структурой // Электрохимия. 2013. Т. 49. С. 982 – 986.
15. Palanna O.G., Shashi Mohan A.L., Biswas A.B. Electrical and magnetic properties of 3d-transition metal vanadates // Proc. Indian Acad. Sci. A. 1977. Vol. 86. P. 455 – 463.
16. Vinke I.C., Diepgrond J., Boukamp B.A., de Vries K.J., Burggraaf A.J. Bulk and electrochemical properties of  $\text{BiVO}_4$  // Solid State Ionics. 1992. Vol. 57. P. 83 – 89.
17. Buchanan R.C., Wolter G.W. Properties of hot-pressed zirconium pyrovanadate ceramics // J. Electrochem. Soc. 1983. Vol. 130. P. 1905 – 1910.
18. Кожевников В.Л., Котик М.Л., Чешицкий С.М., Золотухина Л.В., Сурат Л.Л., Сирин Т.П., Фотиев А.А. Фазовые соотношения в системе  $\text{NiO} - \text{V}_2\text{O}_5$  // Журн. неорг. химии. 1987. Т. 32. С. 2322 – 2324.

**УДК 22.04.02**

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1570**

Елена Владимировна Троценко

Магистр 1 года,

кафедра «Металлургия»

Московский государственный политехнический университет

*Научный руководитель: Н.И. Волгина,  
доцент кафедры «Металлургия»*

В настоящее время для производства самолетов используют исключительно термообрабатываемые алюминиевые сплавы. Несмотря на распространение композитов и титановых сплавов они остаются основным материалом в самолетостроении.

Термически неупрочняемые сплавы системы Al-Mg (5XXX серия по международной классификации и 15XX – по отечественной) с хорошими прочностными свойствами получили широкое распространение благодаря высокой коррозионной стойкости и свариваемости.

В отожженном состоянии эти сплавы показывают низкий предел текучести от 90 до 160 МПа в зависимости от содержания магния. Однако, методы интенсивной пластической деформации, например, равноканальное угловое (РКУ) прессование, способствует повышению прочностных характеристик сплавов системы Al-Mg при сохранении достаточно высокой пластичности. К сожалению области повышенных температур, РКУ прессования остаются на сегодняшний день недостаточно изученными, особенно для высоколегированных и труднодеформируемых алюминиевых сплавов, к числу которых относится и исследуемый в работе сплав 1570.

Микроструктурные изменения в ходе РКУ прессования рассматривали в основном в интервале температур  $T_{ком} < 0,6 T_{пл}$ . Это не позволяет построить целостную картину структурных изменений при РКУ прессовании в широком интервале температур деформации. В результате вопрос о влиянии температуры РКУ прессования на формирование структуры остается открытым.

Необходимость проведения таких исследований, особенно для труднодеформируемых алюминиевых сплавов, очевидна.

В этой связи целью настоящей работы является исследование особенностей формирования зеренной структуры в алюминиевом сплаве 1570 в широком интервале температур РКУ прессования (0,5...0,8)  $T_{пл}$ .

Сплав относится группе высокопрочных сплавов в системе Al-Mg-Sc, и рассматривается как перспективный конструкционный материал для авиационной промышленности.

Проведены исследования с использованием равноканального углового прессования до степеней деформации  $\varepsilon \sim 13,9\%$  при температурах  $> 200^\circ\text{C}$ , которое приводит к измельчению зеренной структуры сплава. Формирование мелкозернистой структуры осуществляется в результате развития и взаимного пересечения деформационных полос, границы которых с повышением степени деформации трансформируются в большеугловые границы по механизму сходному по типу с непрерывной динамической рекристаллизацией.

Повышение температуры РКУ прессования от 200 до 450  $^\circ\text{C}$  при фиксированной степени деформации  $\varepsilon \sim 13,9$  приводит к увеличению размера и объемной доли мелких зерен от 0,4 мкм и 0,63 до 2,8 мкм и 0,85, соответственно. Увеличение размера и объемной доли мелких зерен обусловлено ускорением динамического возврата при повышении температуры РКУ прессования.

Показано, что статическая рекристаллизация в сплаве развивается во время межоперационных нагревов и/или спонтанного отжига заготовки в канале РКУ матрицы непосредственно после деформирования. Движущая сила для развития статической рекристаллизации в сплаве обусловлена двумя факторами: увеличением мобильности границ зерен при повышении температуры деформации и увеличением движущей силы для миграции границ зерен за счет подавления динамического возврата присутствующими в сплаве когерентными Al<sub>3</sub>Sc частицами и атомами Mg в твердом растворе.

**По полученным в работе результатам были сделаны следующие выводы:**

1. РКУ прессование до степеней деформации  $\varepsilon \sim 13,9\%$  при температурах  $>200$  °С приводит к измельчению зеренной структуры сплава. Формирование мелкозернистой структуры осуществляется в результате развития и взаимного пересечения деформационных полос, границы которых с повышением степени деформации трансформируются в большеугловые границы по механизму сходному по типу с непрерывной динамической рекристаллизацией. Стабильность дислокационной структуры обеспечивается когерентными  $Al_3Sc$  частицами.

2. Повышение температуры РКУ прессования от 200 до 450 °С при фиксированной степени деформации  $\varepsilon \sim 13,9\%$  приводит к увеличению размера и объемной доли мелких зерен от 0,4 мкм и 0,63 до 2,8 мкм и 0,85, соответственно. Увеличение размера и объемной доли мелких зерен обусловлено ускорением динамического возврата при повышении температуры РКУ прессования.

3. Вблизи сольвуса сплава обнаружено «технологическое» окно ( $\sim 0,6$  Тпл), в котором одновременно с мелкими зернами ( $\sim 1$  мкм) может развиваться высокая фракция крупных зерен размером  $\sim 8$  мкм. Установлено, что при температуре 300 °С крупные зерна формируются в результате развития статической рекристаллизации.

4. Статическая рекристаллизация в сплаве развивается во время межоперационных нагревов и/или спонтанного отжига заготовки в канале РКУ матрицы непосредственно после деформирования.

**Литература**

1. Туркина Н.И., Кузьмина В.И., Фазовые взаимодействия в системе  $Al-Mg-Sc$ //Металлы.- 1976.-№4.-С.2...8.
2. Промышленные алюминиевые сплавы: Справ. Изд./Алиева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1984. – 528с.
3. Фринляндер И.Н. Перспективные высокопрочные материалы на алюминиевой основе//И.Н. Фридляндер, А.В. Добромыслов, Е.А. Ткаченко // Металловедение и термическая обработка металлов.-2005.-№7. –с. 17-18.
4. Колачев Б.И, Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов – М.: МИСИС, 2005.-432с.

**УДК 22.04.02****ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УСТРАНЕНИЕ  
КАРБИДНОЙ СЕТКИ В СТАЛИ 20Х13**

Наталья Александровна Удальцова

*Магистр 1 года,  
кафедра «Металлургия»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: Н.И. Волгина,  
доцент кафедры «Металлургия»*

Представленные исследования проводились в связи с разрушением в процессе эксплуатации деталей авиационной техники. При исследованиях на деталях была обнаружена карбидная сетка. Для разработки режимов термической обработки, устраняющих карбидную сетку, были проведены исследования.



В работе исследовалось влияние различных факторов термической обработки на растворение карбидной сетки. В качестве исходных были взяты образцы толщиной 5 мм из прутка стали 20X13 в состоянии поставки с карбидной сеткой.

Показано, что разрушение деталей могло быть связано с их неблагоприятной структурой – наличием сплошной карбидной сетки по границам аустенитных зерен и крупнозернистостью. Показано, что карбидная сетка имела место в исходном металле и усугубилась при термической обработке (в вакуумных печах) в процессе их изготовления.

Исследовалось влияние:

- температуры закалки стали от 950 до 1150 °С (выдержка 30 минут, охлаждение в масле);
- продолжительности выдержки при закалке с температурой 1050 °С, от 15 минут до 2 часов;
- влияние скоростей охлаждения: в воде, в масле, на воздухе;
- влияние улучшающих обработок (отжиг, далее закалка, трехкратная закалка).

Исследовалось также влияние провоцирующих обработок на микроструктуру стали 20X13.

Результаты исследования разрушенных деталей показали:

1. Разрушение деталей из стали 20X13 в процессе эксплуатации могло быть связано с их неблагоприятной структурой – наличием сплошной карбидной сетки по границам аустенитных зерен и крупнозернистостью. Показано, что карбидная сетка имела место в исходном металле и усугубилась при термической обработке ( в вакуумных печах) в процессе их изготовления.

2. Карбидная сетка на образцах из деталей или исходного металла устраняется путем улучшающей термической обработки – отжига с 730-870°С и обычной закалки (с 1050 °С, 30 минут, масло), либо закалки в масле с температурой 1050-1100 °С разной продолжительности от 2 часов до 30 минут в зависимости от температуры закалки. Однако учитывая малые сечения деталей, указанные обработки рекомендуется опробовать на заготовках деталей.

3. Наличие карбидной сетки в деталях из стали 20X13 считаем недопустимым. Для устранения указанного явления рекомендуется ввести металлографический контроль прутков из стали 20X13, а также скорректировать режим термической обработки готовых деталей, в частности увеличить скорость охлаждения деталей с температуры закалки по сравнению с существующей (в вакуумной печи).

### **Литература**

1. *Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оженко А.П.* Неметаллические включения и свойства стали. М.: Металлургия, 1980. 174 с.
2. *Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П.* Материаловедение. М., Изд. дом Альянс, 2009. 528с.
3. *Гуляев А.П., Гуляев А.А. М.,* Изд. дом Альянс, 2009. 645с.

### **УДК 621.78**

## **РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ**

Илья Михайлович Федюк

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Материаловедение и технологии новых материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р. С. Фахуртдинов,  
кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой  
«Материаловедение» по учебной работе*

Никелид титана является одним из самых известных представителей материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), использующихся для производства имплантатов медицинского назначения [1-3]. Особенности сплава являются высокая прочность при хороших показателях пластичности, а имплантаты из никелида титана показывают хорошие характеристики формозапоминания, сверхэластичности, а также подчиняются закону запаздывания.

Важную роль играет качество производства никелида титана. Из-за наличия титана в сплаве возможно присоединение кислорода и азота. Для предотвращения этого используют вакуумирование. Наличие в сплаве токсичного для человеческого организма никеля обуславливает необходимость повысить коррозионную стойкость никелида титана и улучшить его биосовместимость [4]. Исследования показывают, что качество поверхности никелида титана определяет его коррозионную стойкость, во внешнем слое должно быть минимальное количество повреждений и загрязнений.

Для изменения эксплуатационных свойств никелида титана применяют различные методы [5-7]. Например, легирование Fe, Mn, Ni, Al, Cr, V, Co, Zr, Ta, Nb, однако использование в качестве легирующих первых четырех элементов из списка незначительно снижает коррозионную стойкость. Пористость не изменяет коррозионную стойкость. Исследования подтверждают, что термическая обработка (необходимая для стабилизации структуры и формы изделия) непосредственно влияет на все свойства никелида титана. Из основных термообработок применяют отжиг, закалку, старение после закалки и термоциклирование. Тонкие оксидные слои предпочтительнее, так как они имеют большую гибкость и могут подстраиваться под нагрузки. При этом оксид титана является коррозионно-стойкой и биосовместимой фазой. Таким образом, после термообработки стоит удалять толстый оксидный слой и пассивировать поверхность. Также для придания сплаву высокой коррозионной стойкости и биосовместимости возможно создание специальных покрытий и поверхностных слоев. Например, для модификации поверхностного слоя никелида титана применяется азотирование.

Целью данной работы являлось исследование процессов формирования оксидных и нитридных поверхностных слоев на никелиде титана и их влияния на механические свойства сплава.

В соответствии с этой целью были поставлены задачи по разработке методов получения оксидных и нитридных поверхностных слоев различной протяженности на никелиде титана методами отжига и азотирования.

Термическая обработка для всех режимов проводилась в муфельной печи серии LOIP LF, модель 7/13-G2 со встроенным программным обеспечением для выполнения нагрева, закалки, отжига различных материалов в воздушной среде при температурах от +100°C до +1300°C. Перед проведением термической обработки печь нагревалась до заданной температуры отжига. Затем в неё помещались образцы и выдерживались при постоянной температуре выбранное время. При этом в печи поддерживалась постоянная температура  $T_{\text{отжига}}$ . После этого проводилась нормализация. Отжигу подвергались проволоки в исходном состоянии (после волочения) или после механической обработки поверхности, когда проволоки в исходном состоянии подвергали последовательной шлифовке поверхности наждачной бумагой зернистостью от 180 до 1000 grit и конечной обработке пастой ГОИ до зеркальной поверхности.

Азотирование никелида титана проводилось в графитовой печи горячего прессования НР20-3560-20. Модель позволяет работать как в вакууме, так и в инертной атмосфере. При температуре  $T=1150^\circ\text{C}$  и скорости подъема температуры 10 град/мин

проводилась химико-термическая обработка двух образцов никелида титана в среде азота. Первый образец нагревался вместе с печью до температуры 1150°C, после охлаждался вместе с печью. Второй образец дополнительно выдерживался при той же температуре 5 минут и также охлаждался вместе с печью.

Была показана возможность получения оксидных и нитридных поверхностных слоев различной протяженности на никелиде титана методами отжига и азотирования на воздухе.

### Литература

1. *Zabolotnyi V.T., Belousov O.K., Palii N.A., Goncharenko B.A., Armaderova E.A., Sevost'yanov M.A.* Materials science aspects of the production, treatment, and properties of titanium nickelide for application in endovascular surgery // Russian metallurgy (Metally). 2011. Т. 2011. № 5. С. 437-448.
2. *Севостьянов М.А., Федотов А.Ю., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т., Баринев С.М., Гончаренко Б.А., Комлев В.С., Баикин А.С., Сергиенко К.В., Тетерина А.Ю., Насакина Е.О., Леонова Ю.О., Леонов А.В.* Механические свойства композиционного материала «наноструктурный нитинол — хитозан» // Материаловедение, 2014. - № 3. - С. 34 – 37
3. *Баикин А.С., Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Сергиенко К.В., Каплан М.А., Конушкин С.В., Колмаков А.Г., Парфенов А.А., Симаков С.В.* Механические свойства наноструктурного сплава NiTi медицинского назначения // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 2. С. 26–30
4. *Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Гончаренко Б.А., Леонова Ю.О., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т.* Методы исследования и повышения коррозионной стойкости медицинского сплава с эффектом памяти формы NiTi. Исследование коррозионной стойкости и биосовместимости нитинола // Перспективные материалы. 2014. № 7. С. 37–49.
5. *Nasakina E.O., Baikin A.S., Sevost'yanov M.A., Kolmakov A.G., Zabolotnyi V.T., Solntsev K.A.* Properties of nanostructured titanium nickelide and composite based on it // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2014. - V.48. №.4. - P.477–486.
6. *М. А. Севостьянов, А. Ю. Федотов, Е. О. Насакина, А. Ю. Тетерина, А. С. Баикин, К. В. Сергиенко, А. Г. Колмаков, В. С. Комлев, В. Е. Иванов, О. Э. Карп, С. В. Гудков, С. М. Баринев К.А.* Кинетика высвобождения антибиотиков из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана // Доклады Академии наук, 2015, том 465, № 2, с. 194-197
7. *Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Демин К.Ю., Михайлова А.Б., Гольдберг М.А., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т.* Использование способа ионно-атомного осаждения для создания одномерных композитов // Материаловедение, 2015, № 1, с. 47-51

УДК 621.785.5

## АНАЛИЗ КИНЕТИКИ НАСЫЩЕНИЯ ПРИ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ И НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Александр Александрович Французов

Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. Е. Смирнов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В представленной работе приведены результаты исследований влияния способа вакуумной химико-термической обработки и ее времени на параметры диффузионных слоев при насыщении комплексно-легированных сталей.

Исследования проводили на образцах сталей марок ВКС-7 (16Х2Н3МФБАЮ-Ш) и ВКС-10 (13Х3Н3М2ВФБ-Ш). Образцы подвергали вакуумной цементации или нитроцементации в течение различных промежутков времени: 15 мин, 2, 4 и 6 часов. В качестве исследуемых параметров выступали: эффективная толщина полученного диффузионного слоя, распределение микротвердости, а также толщина карбидной (карбонитридной) зоны.

Металлографический анализ (рис. 1) дал возможность измерить параметры диффузионных слоев и по полученным данным рассчитать кинетические коэффициенты насыщения, кроме того, построить графики зависимости эффективной толщины диффузионного слоя от времени обработки. Результаты исследований дали возможность сделать вывод о влиянии состава атмосферы при вакуумной химико-термической обработке на результаты диффузионного насыщения.

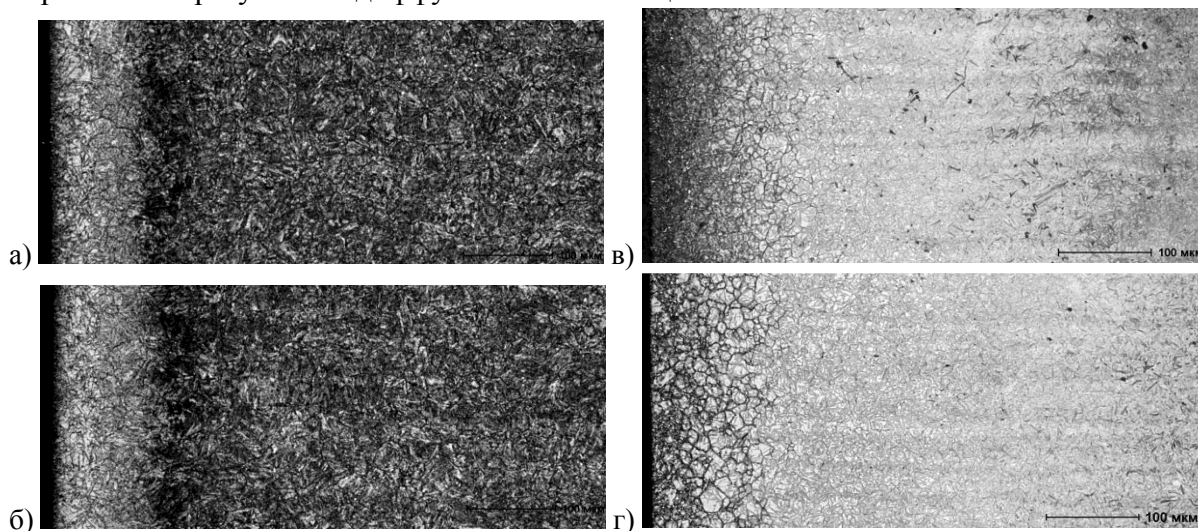


Рис. 1. Структуры комплексно-легированных сталей после вакуумной химико-термической обработки при температуре 800 °С: а) ВКС-10, цементация, 15 мин; б) ВКС-10, нитроцементация, 15 мин; в) ВКС-7, цементация, 2 ч; г) ВКС-7, цементация, 4 ч

### Литература

1. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Управление насыщенностью углеродом диффузионного слоя при вакуумной цементации теплостойких сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2004. №8. С. 22-27.
2. Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Фахуртдинов Р.С., Смирнов А.Е., Громов В.И., Ступников В.В. Исследование износостойкости сталей ВКС-7 и ВКС-10 после вакуумной цементации и вакуумной нитроцементации // *Наука и образование*. 2013. №5. С. 345-356.

УДК 621.785.532:621.762

## АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ 25X13N2, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Илья Сергеевич Чекин

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Смирнов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Азотирование сталей и сплавов является эффективным, но малопроизводительным способом их поверхностного упрочнения. Исследования, направленные на ускорение процесса азотирования, представляют большой интерес для химико-термической обработки.

Поскольку изделия, полученные методом лазерного плавления, характеризуются малым размером зерна и микроструктурных составляющих, они имеют повышенную протяженность границ зерен. В свою очередь развитая система границ зерен обуславливает повышенную скорость диффузии элементов вглубь сплава при химико-термической обработке, в том числе азота.

В связи с вышеизложенным было проведено азотирование стали, полученной прямым лазерным выращиванием, с целью исследования влияния структурного состояния стали на параметры диффузионных слоев на примере стали 25X13N2.

Сталь 25X13N2 исследовалась в трех структурных состояниях: после улучшения, лазерная наплавка, лазерная наплавка после высокого отпуска.

Задачами данной работы являются:

1. Исследование исходного состояния образцов стали.
2. Исследование структуры и параметров азотированных слоев образцов стали после азотирования.
3. Анализ результатов азотирования образцов стали в трех структурных состояниях.

Как показали металлографические исследования и рентгеноструктурный фазовый анализ, сталь после улучшения и лазерная наплавка стали после высокого отпуска преимущественно состоят из феррита, а лазерная наплавка стали состоит из мартенсита и аустенита остаточного.

Как показали испытания (рис. 1), наибольшую толщину азотированного слоя имеет лазерная наплавка стали ( $h_{\text{полная}} = 180$  мкм), наименьшую — стали после улучшения ( $h_{\text{полная}} = 80$  мкм).

Лазерная наплавка стали после высокого отпуска имеет промежуточное значение толщины азотированного слоя ( $h_{\text{полная}} = 140$  мкм).

Наибольшая микротвердость азотированного слоя наблюдается у лазерной наплавки стали после высокого отпуска и составляет  $HV_{0,1} = 1050$ .

Характер распределения микротвердости по толщине азотированного слоя лазерной наплавки стали более плавный, чем у стали после улучшения, у которой наблюдается резкое падение микротвердости.

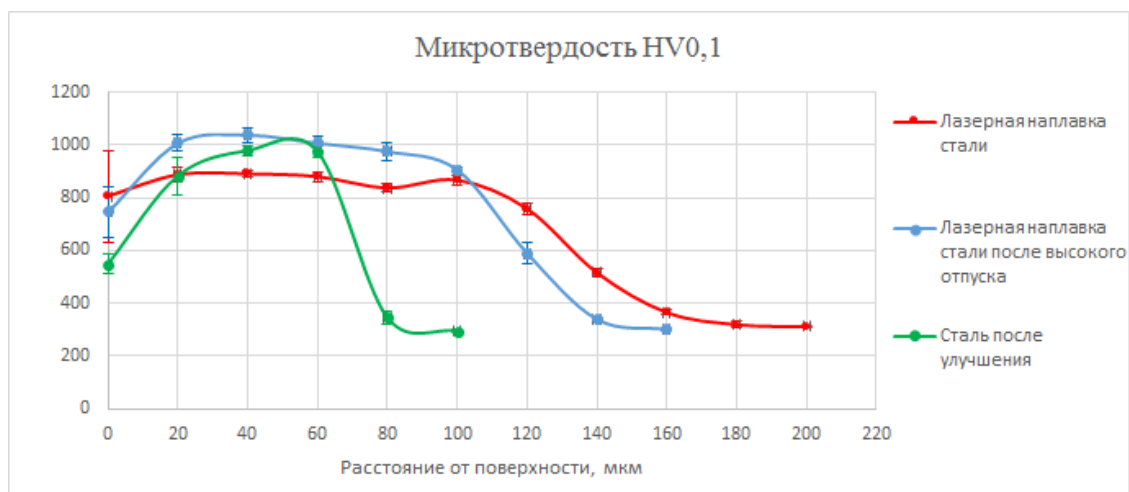


Рис. 1. Распределение микротвердости по толщине азотированного слоя образцов Приповерхностные азотированные слои образцов в различных структурных состояниях имеют структуру, состоящую из азотистого феррита и нитридов  $Fe_2N$ ,  $Fe_4N$  и  $CrN$ .

### Литература

1. *Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н.* Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
2. *Гуляев А.П.* Металловедение: учебник для вузов. М.: Металлургия. 1986. 544 с.
3. *Лахтин Ю.М., Коган Я.Д.* Азотирование стали. М.: Машиностроение. 1976.
4. *Мисюрлов А.И.* Технология лазерной наплавки: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2004. 40 с.
5. *Лахтин Ю.М., Коган Я.Д.* Лазерная химико-термическая обработка и наплавка сплавов. М.: Машиностроение. 1986. 59 с.

### УДК 678

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗБАВИТЕЛЕЙ НА КИНЕТИКУ ПРОПИТЫВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Полина Игоревна Чирва

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Бородулин,  
кандидат технических наук*

В машиностроении все чаще используют изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Распространенным методом изготовления ПКМ является метод вакуумной инфузии – VARTM. На качество и цену изделия, изготовленного таким методом, влияют реологические свойства связующего. Таким образом необходимо повышать технологичность связующего и уменьшать время пропитки.

В данной работе были рассмотрены три вида связующих, состоящих из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ИМТГФА и различного процентного содержания активного разбавителя Лапроксид БФ (5, 10 и 15%). Исследовалась оценка влияния количества

разбавителя на вязкость связующего, а затем сравнивались скорости пропитки стеклянной ткани данными связующими.

Рассматриваемые в данной работе образцы были изготовлены и исследованы на базе МИЦ КМ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

## Литература

1. *Бородулин А.С., Л.П. Кобец Л.П.* Моделирование процессов течения полимерных связующих // *Новости материаловедения. Наука и техника.* 2013. №5. Режим доступа: <http://www.materialsnews.ru/ru/> (дата обращения 13.03.2018)
2. *Нелюб В.А., Малышева Г.В., Курганова Ю.В., Гусев С.А.* Изучение технологии формования деталей из стеклопластиков методом вакуумной инфузии // *Москва.* 2017

## УДК 621.9.025

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДА НИОБИЯ

Александр Сергеевич Шаврыгин

*Магистр 2 курса,  
кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.В. Чихранов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»*

В настоящее время для повышения работоспособности деталей машин, режущего инструмента широкое применение получили различные виды износостойких покрытий, в том числе наносимые методом физического осаждения из паровой фазы (PVD) [1, 2]. В то же время можно отметить, что подавляющее большинство их них в качестве основы использует нитриды титана, молибдена и циркония или их соединения с добавками одного или нескольких легирующих элементов (чаще всего алюминия, кремния, хрома, железа) [2, 3]. Таким образом, гамма существующих покрытий является достаточно ограниченной. Одним из перспективных материалов для создания покрытий можно считать ниобий, нитрид которого обладает самой низкой теплопроводностью по сравнению с другими нитридами тугоплавких металлов. В то же время данные по механическим свойствам покрытий на основе нитрида ниобия практически отсутствуют.

В работе проведено исследование механических свойств износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида ниобия, наносимых методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) на установке «Булат-6Т». Измерение механических свойств (микротвердости  $H_c$ , модуля упругости первого рода  $E$ , вязкости разрушения  $K_{ICP}$  и коэффициента отслоения  $K_o$ ) проводили по методикам, изложенным в работах [4, 5]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Механические свойства износостойких покрытий на основе нитридов тугоплавких элементов

Покрытие	$H_{ц}$ , ГПа	$E$ , ГПа	$K_{ИСП}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$K_0$
TiN	27,9	305	9,96	0,04
NbN	29,6	499	9,78	0,07
TiNbN	29,7	498	10,12	0,8
NbTiN	30,6	489	11,03	1,2
NbZrN	26,5	507	13,30	0,04
NbTiAlN	31,4	455	12,64	0,02
NbTiZrN	31,5	575	11,55	0,08

Подложка – твердый сплав НТi10

Как видно из представленных данных нитрид ниобия обладает более высокой микротвердостью и модулем упругости первого рода по сравнению с нитридом титана. В то же время эти покрытия обладают хорошей адгезионной прочностью (о чем свидетельствует низкий коэффициент отслоения покрытий  $K_0$ ). Недостатком их можно считать относительно низкие показатели сопротивляемости квазихрупкому разрушению, о чем свидетельствуют низкие значения вязкости разрушения  $K_{ИСП}$ . Использование ниобия в качестве легирующего элемента (покрытие TiNbN) не приводит к существенному улучшению значений механических характеристик покрытий. В то же время введение в состав покрытия NbN одного или двух легирующих элементов приводит к значительному улучшению этих показателей. Так введение в состав покрытия титана, алюминия и циркония приводит к повышению микротвердости и значительному повышению вязкости разрушения. Введение легирующих элементов в состав покрытий неоднозначно меняет величину модуля упругости. При введении в состав титана происходит уменьшение, а циркония – увеличение значений  $E$ . При этом адгезионная прочность покрытий имеет характеристики, близкие к значениям для покрытия NbN, за исключением покрытий составов NbTiN и TiNbN. Наиболее высокие показатели механических свойств наблюдаются при введении в состав двух легирующих элементов.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования покрытий на основе нитрида ниобия для упрочнения рабочих поверхностей деталей машин и режущего инструмента.

### Литература

1. *Tabakov V.P., Chikhranov A.V.* Selecting the Composition of Wear-Resistant Coatings // Russian Engineering Research 2018, V. 38, Issue 2, pp 105–109 <https://doi.org/10.3103/S1068798X18020193>
2. *Табаков В.П., Чихранов А.В.* Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора параметров состава износостойкого покрытия // Станки и инструменты, 2016. – №3. – С.14-18.
3. *Табаков В.П., Сизов С.В., Чихранов А.В.* Новые износостойкие покрытия режущего инструмента на основе нитрида ниобия // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2017. – №2 (41). – С. 235-240
4. *Табаков В.П., Чихранов А.В.* Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана // Известия Самарского научного центра РАН, 2010. Том. 12. № 4. – С. 292–297.
5. *Штанский Д.В., Кулинич С.А., Левашов Е.А., Moore J.J.* Особенности структуры и физико-механических свойств наноструктурных тонких пленок // Физика твердого тела, 2003. Том 45, вып. 6. – С.1122-1129.



УДК 621.822.71

**КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

Кирилл Иванович Шебешев

*Студент 4 курса, бакалавриат**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: С.А. Пахомова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

При изготовлении подшипников чаще всего используется сталь, иногда сплавы. В ряде случаев стали не соответствуют критериям высокой жаропрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости. Этим требованиям отвечает керамика.

Керамические материалы преобладают следующими преимуществами по сравнению с подшипниковой сталью: низкая плотность; высокая твёрдость; высокий модуль упругости; химическая инертность; коэффициент сухого трения в паре керамика-сталь меньше, чем в паре сталь-сталь; низкий коэффициент теплового расширения, высокая теплоёмкость и жаропрочность, а также то, что керамика – диэлектрик.

Благодаря низкой плотности в сочетании с высокими физико-механическими и триботехническими показателями, обеспечиваются следующие эксплуатационные свойства преимущества керамических тел качения перед стальными телами качения подшипников: уменьшение центробежных сил; уменьшения предварительного натяга в подшипнике; уменьшение радиального зазора в подшипнике; понижение вибрации и шума; уменьшение рабочих температур подшипника [1].

В настоящее время для жёстких условий эксплуатации тел качения подшипников используют керамику на основе следующих соединений: нитрид кремния ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ); карбид кремния ( $\text{SiC}$ ); оксид циркония ( $\text{ZrO}_2$ ); оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

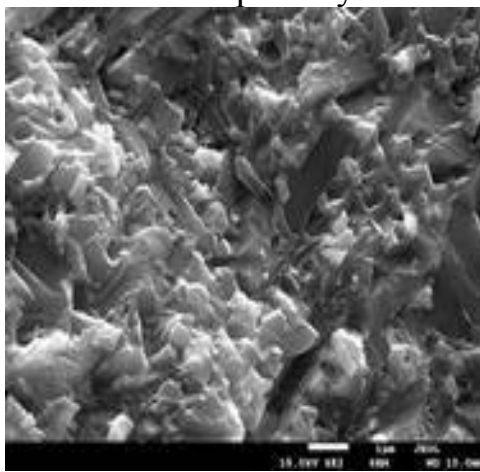
Основные физико-механические свойства этих перспективных керамических материалов и подшипниковой стали приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Физико-механические свойства керамических материалов**

1	2	3	4	5	6
Наименование показателя	Оксид алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3$	Оксид циркония $\text{ZrO}_2$	Карбид кремния $\text{SiC}$	Нитрид кремния $\text{Si}_3\text{N}_4$	Сталь
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	3,8	5,9	3,1	3,2	7,8
Кажущаяся пористость, %	0	0	не менее 1	0	0
Твёрдость, ГПа	23	17	21	17	3,5

1	2	3	4	5	6
Модуль упругости, ГПа	380	200	330	320	210
Прочность при изгибе при температуре 20 <sup>0</sup> С, МПа	350-400	500-600	350-650		-
Максимальная рабочая температура, <sup>0</sup> С	1700	900	1400	1400	120-280
Теплопроводность при температуре 100 <sup>0</sup> С, Вт/мК	27-36	2,5	90	27-33	45
Коэффициент теплового расширения в диапазоне 20-1000 <sup>0</sup> С, (10 <sup>-6</sup> /К)	8,5	10	4,4	3.2	12
Удельное сопротивление при температуре 20 <sup>0</sup> С, Ом·см	10 <sup>16</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>1</sup>

Нитрид кремния отличается исключительно высокой химической стойкостью. Практически нитрид кремния устойчив против всех кислот, многих расплавленных металлов, паров воды. Он устойчив к окислению не только на воздухе, но и в кислороде при умеренно высоких температурах. Микроструктура керамики на основе нитрида кремния представлена на рис. 1. Плотность нитрида кремния составляет 40% от плотности стали, поэтому тела качения весят меньше и обладают меньшей инерцией. Меньшее трение означает меньший нагрев и больший срок службы смазочного материала.



**Рис. 2.** Микроструктура керамики на основе нитрида кремния и спекающих добавок (x500)

Твёрдость и модуль упругости нитрида кремния более, чем в 1,5 раза выше, чем у стали. Этот фактор делает подшипник жёстче и увеличивает его ресурс при работе в условиях повышенного загрязнения.

Тела качения из нитрида кремния имеют меньшую степень теплового расширения, чем стальные тела качения аналогичного размера. Этот фактор означает меньшую чувствительность к изменению температуры внутри подшипника и способность к выдерживанию более точной величины преднатяга.

**Заключение.** По показателям физико-механических и электроизоляционных свойств в качестве материала тел качения керамических шаров целесообразно использовать нитрид кремния.

#### **Литература**

1. *Гаршин А.П., Горопянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С.* Керамика для машиностроения. Москва, Научтехиздат, 2003, 384 с.

**УДК 678.742.22**

### **ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИПРОПИЛЕНА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ СВОЙСТВ**

Александр Олегович Шитов

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Курганова*

*доктор наук, профессор кафедры "Материаловедение"*

В России в 2015 году пластиковые отходы составили более 1000000 тонн, из которых было подвергнуто переработке не более 10 % [16]. Таким образом, утилизация пластиковых отходов на сегодняшний день является весомой проблемой, а их вторичная переработка – не только одним из способов экономии природных ресурсов, но и важнейшей экологической задачей.

Основными полимерами, входящими в состав сырья для вторичной переработки, являются полипропилен, полиэтилен и полиэтилентерефталат. Последний содержится в составе около 8 % и является нежелательным в расплаве по причине его высокой температуры плавления по сравнению с полипропиленом и полиэтиленом.

Как правило, для переработки пластиковых отходов применяется технология экструдирования, которая заключается в очистке отходов с последующим дроблением и получением вторичного гранулированного материала. Прежде всего, отходы полимерных материалов тщательно сортируются для последующего измельчения. Материал поступает в плавильную камеру, из которой расплав через специальные отверстия гранулятора выходит в охлаждающую ванну с водой в виде стренгов. Завершающим этапом переработки вторичного сырья является измельчение материала с помощью стренгореза и формирование гранул определенного размера, которые затем будут расфасованы в стандартную упаковку.

Из полученных гранул изготовлены образцы для испытаний по регламентированным методикам. Установлено, что уровень механических свойств образцов из материала вторичной переработки уступает не более чем на 10%, что укладывается в допуски для использования материала определенного назначения.

## Литература

1. Белоконов Т. Д., Шитов А. О., Курганова Ю. А. Вторичная переработка полипропилена и анализ полученных свойств // Проблемы и перспективы развития науки в России и мире: сб. статей. – Уфа, 2016 – С. 6-9.
2. Белоконов Т. Д., Курганова Ю. А., Брагин Д. А., Ковалев М. Н. Повышение эффективности вторичной переработки полипропиленово-полиэтиленового сырья // Технология металлов. 2017. №1. С. 25-29.
3. Belokon T. D., Kurganova Yu. A., Bragin D. A., Kovalev M. N. Increasing the efficiency of the recycling of propylene-polyethylene raw materials. Russian metallurgy, 2017, no. 13, pp. 13-16.
4. Кабанов В. А., Акутин М. С., Бакеев Н. Ф., Вонский Е. В. Энциклопедия полимеров, том 2. Москва: Изд-во Советская энциклопедия, 1974, 575 с.
5. Полипропилен (ПП): основные свойства, область применения [Электронный ресурс] // 2002—2015 Пластинфо.ру. URL: <http://plastinfo.ru/information/articles/52/>.
6. Справочник упаковщика, упаковочное сырье [Электронный ресурс] // Унипак.Ру, 1999 - 2015. URL: <http://ref.unipack.ru/96/>.
7. Пропилен [Электронный ресурс] // ООО Сагат, 2003 - 2015. URL: <http://www.oosagat.ru/articles/propylene/>.
8. «Весы Adventurer Pro компании Ohaus» [Электронный ресурс] // OHAUS Corporation, 2008—2016. URL: <http://www.ohaus-cis.ru/static/downloads/marketing/brochures/adventurer/OHAUS-Adventurer-Pro-Brochure.pdf>.
9. Прибор «ИК-Фурье спектрометр Nicolet iS10» [Электронный ресурс] // INTERTECH Corporation. URL: <http://www.intertech-corp.ru/aboutproduct.asp?gr=15&prid=103&subgr=33>.
10. ГОСТ 4647-80 «Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи».
11. ГОСТ 10708-82 «Копры маятниковые. Технические условия».
12. ГОСТ 24621-2015 «Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)».
13. ГОСТ 24522-91 «Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу».
14. ГОСТ 4670-91 «Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика».
15. Перепелкин В. П. Полипропилен, его свойства и методы переработки. — Л.: ЛДНТП, 1963. — 256 с.
16. Перспективы российского рынка автокомпонентов [Электронный ресурс] // «ИД МедиаПро» 2011—2016. URL: <http://www.lkmportal.com/articles/perspektivy-rossiyskogo-rynka-avtokomponentov>.
17. Франческо Л. М. (Francesco La Mantia) Вторичная переработка пластмасс [Электронный ресурс] // Мастерская своего дела 1999-2016. URL: <http://msd.com.ua/vtorichnaya-pererabotka-plastmass/vtorichnaya-pererabotka-plastmass/>.
18. Вторичная переработка пластмасс [Электронный ресурс] // Производство изделий из пластмассы 2006-2010. URL: <http://www.poliiolefins.ru/stat/tex/668-vtorichnaya-pererabotka-plastmass.html>.
19. Хазова, Т. Н. Состояние и проблемы развития переработки пластмасс // Российский конгресс переработчиков пластмасс. – 2015.
20. Информация о результатах анализа состояния и развития отрасли производства полимерной продукции [Электронный ресурс] // Евразийская экономическая комиссия, 2016. URL: <http://goo.gl/cWGF5r>.

**УДК 621.785.545**

## **УПРОЧНЕНИЕ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА**

Никита Алексеевич Юшин

*Магистр 2 года*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Пахомова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Актуальной задачей на сегодняшний день является, разработка новых и усовершенствование существующих методов повышения твердости и увеличения сопротивления абразивного изнашивания поверхностного слоя нефтедобывающего оборудования, которые смогут понизить удельную стоимость нанесения покрытия, а также увеличат срок эксплуатации оборудования, снизить время простоя оборудования на ремонте.

Достижения поставленных задач реализуемо при проведении детального анализа существующих методов упрочнения. Для исследования и сравнительного анализа были выбраны методы наплавки и электромеханической обработки.

Анализ проводился на девяти подготовленных образцах различных марок и химических составов с наплавленными покрытиями и один с ЭМО. Все покрытия нанесены на поверхность нефтедобывающих труб из стали 40ХН. По образцам подготовлен химический анализ наплавленного металла. Проведен структурный анализ. Построены зависимости твердости по толщине обработанного (наплавленного) слоя. Получены результаты фрикционных испытаний.

Заключение. Из полученных данных были сделаны выводы об эффективности различных видов обработки, определены механизмы, повышающие характеристики поверхностного слоя, сделаны предположения о способах усовершенствования методов.

### **Литература:**

1. Зувев Р.Н. Шпунькин Н.Ф. Вытяжка облицовочных деталей кузова автомобиля. – М.: МГТУ «МАМИ», 2006. – 152 с.
2. Шпунькин Н.Ф. Технология кузовостроения. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 184 с.  
3. AutoForm
3. Workshop Manual. – М.: Autoform Engineering GmbH, 2002. – 564 с.
4. Ярыш А.В. Проектирование штамповой оснастки на ОПП «АвтоВАЗ». – М.: САПР и Графика №2, 2012.

**УДК 617-089****РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО БИОСОВМЕСТИМОГО МАТЕРИАЛА  
«НИКЕЛИД ТИТАНА-ПОЛИЛАКТИД»**

Алексей Дмитриевич Якубов

*Студент 4 курса, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: Р. С. Фахуртдинов,  
кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой  
«Материаловедение» по учебной работе*

Никелид титана - один из самых известных материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), использующийся для различного рода имплантатов медицинского назначения [1-3]. В его особенности входят: высокая прочность при хороших показателях пластичности, имплантаты из никелида титана показывают хорошие характеристики ЭПФ, сверхэластичности, а также подчиняются закону запаздывания.

Однако, несмотря на вышеперечисленные достоинства, при использовании данного материала в устройствах типа «стент» остается ряд проблем. Среди них можно выделить такие как: повторный рестеноз(сужение тканей), воспаление в месте установки.

Для решения данного рода проблем используют покрытия с лекарственным средством. Но у данных покрытий есть существенный недостаток- они «вымываются» в течение очень короткого срока.

В соответствии с этим была поставлена задача по разработке нового композиционного биомедицинского материала.

В качестве основы был взят стент из проволоки никелида титана, выполненный без узлов сварки, а покрытие из полилактида.

Были проведены механические испытания, на биосовместимость, а также проверка биодеградации.

**Литература**

4. Zabolotnyi V.T., Belousov O.K., Palii N.A., Goncharenko B.A., Armaderova E.A., Sevost'yanov M.A. Materials science aspects of the production, treatment, and properties of titanium nickelide for application in endovascular surgery // Russian metallurgy (Metally). 2011. Т. 2011. № 5. С. 437-448.
5. Севостьянов М.А., Федотов А.Ю., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т., Баринев С.М., Гончаренко Б.А., Комлев В.С., Баикин А.С., Сергиенко К.В., Тетерина А.Ю., Насакина Е.О., Леонова Ю.О., Леонов А.В. Механические свойства композиционного материала «наноструктурный нитинол — хитозан» // Материаловедение, 2014. - № 3. - С. 34 – 37
6. Баикин А.С., Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Сергиенко К.В., Каплан М.А., Конушкин С.В., Колмаков А.Г., Парфенов А.А., Симаков С.В. Механические свойства наноструктурного сплава NiTi медицинского назначения // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 2. С. 26–30

**УДК 616-71**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ХРУПКОСТИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОБРАБОТКИ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ

Яновский Валерий Валерьевич

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Плохих*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Стоматологи сталкиваются с проблемой разрушения стоматологических инструментов, в частности инструменты для обработки корневых каналов. Многие стоматологи попросту не знают почему ломается тот или иной инструмент, а из-за этого впоследствии страдает пациент так как зачастую такие инструменты ломаются прямо во время работы. Таким образом, исследование проблемы хрупкости стоматологических инструментов на примере инструментов обработки корневых каналов является важной задачей.

Основными материалами при производстве инструментов для обработки корневых каналов, далее «инструмент», являются аустенитная нержавеющая сталь типа 12Х18Н10 и сплав Нитинол.

Были проведены исследования 14 инструментов из данных сплавов, после исследования характера излома можно сделать первичный вывод, что «инструменты» имеют очень ограниченный срок использования, а также стоматологи не «чувствуют» как ломают «инструмент» во время его использования.

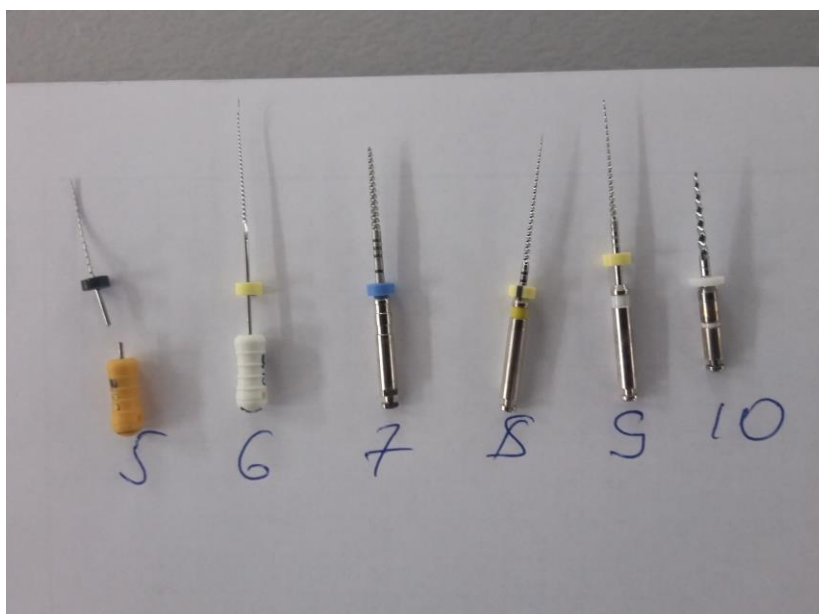


Рис. 1 - Инструмент обработки корневого канала, образцы из сплава Нитинола

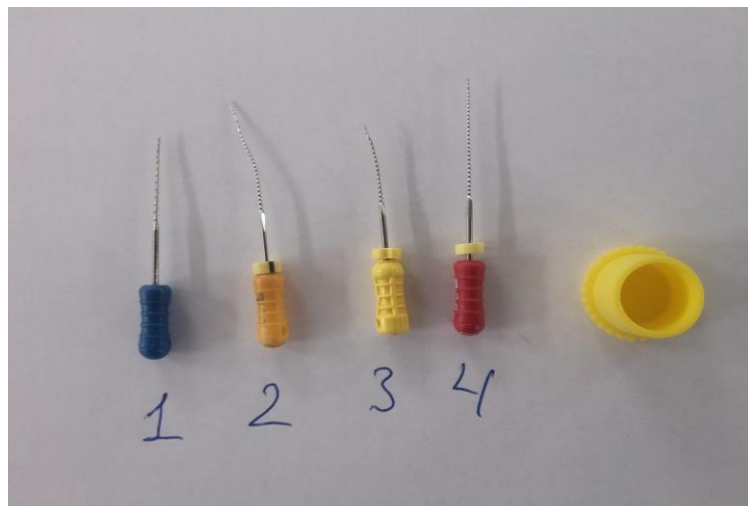


Рис. 2 - Инструмент обработки корневого канала, образцы из аустенитной нержавеющей стали

### Литература

1. Аникина В.И., Ковалева А.А. Фрактография в материаловедении // Учебное пособие. — Красноярск: СФУ, 2014. — 143 с.
2. Феллоуз Дж. Фрактография и атлас фрактограмм. // Справочное издание М.: Металлургия 1982 - 489 с.
3. Н.А.Спирин, В.В.Лавров Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента // ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет УПИ» 2004
4. Вульф Б.К. Термическая обработка титановых сплавов. // М.: Металлургия, 1969 г., 377 с
5. Вульф Б.К. Термическая обработка титановых сплавов. М.: Металлургия, 1969 г., 377 с
6. Обработка корневого канала [Электронный ресурс] // dental Magazine 2013-2017  
URL: <https://dentalmagazine.ru/science/opyt-primeneniya-ruchnykh-instrumentov-dlya-podgotovki-kornevyyh-kanalov-k-obturacyi.html>
7. Обработка корневого канала [Электронный ресурс] // odonta.org 2016-2017  
<https://odonta.org/article/endodontiya/110-dve-osnovnyie-taktiki-obrabotki-kornevogo-kanala>
8. СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ [Электронный ресурс] // vmede.org , 2000 - 2016.  
URL: [http://vmede.org/sait/?page=10&id=Stomatologiya\\_poyrovskaya\\_2007&menu=Stomatologiya\\_poyrovskaya\\_2007](http://vmede.org/sait/?page=10&id=Stomatologiya_poyrovskaya_2007&menu=Stomatologiya_poyrovskaya_2007)



**Секция IX**

**Промышленный дизайн**

Председатель:

**Терехова Наталья Юрьевна**

доктор технических наук, доцент, заместитель  
заведующего кафедрой МТ-9

УДК 738

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ДРЕВНЕГРЕЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ**

Лиза Иссаевна Аушева

*Студент 1 курса, бакалавриат**кафедра «Системы обработки информации и управления»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Т. И. Маслова,**старший преподаватель кафедры «Инженерная графика»*

Формы греческих ваз до сих пор считаются эталоном красоты пропорций и общего силуэта сосудов. Удивляет многообразие их форм. Разобраться в причинах появления многообразия форм греческой керамики в античную эпоху и является целью данной исследовательской работы. Поставлены задачи рассмотреть различные типы ваз и их назначение.

Мягкая пластичная глина и вращающийся гончарный круг определили появление в Древней Греции округлых, гладких, плавных форм керамических сосудов. Со временем совершенствовались функциональные качества сосудов. В соответствии с функцией шел процесс компоновки составных частей древнегреческого сосуда (рис. 1).

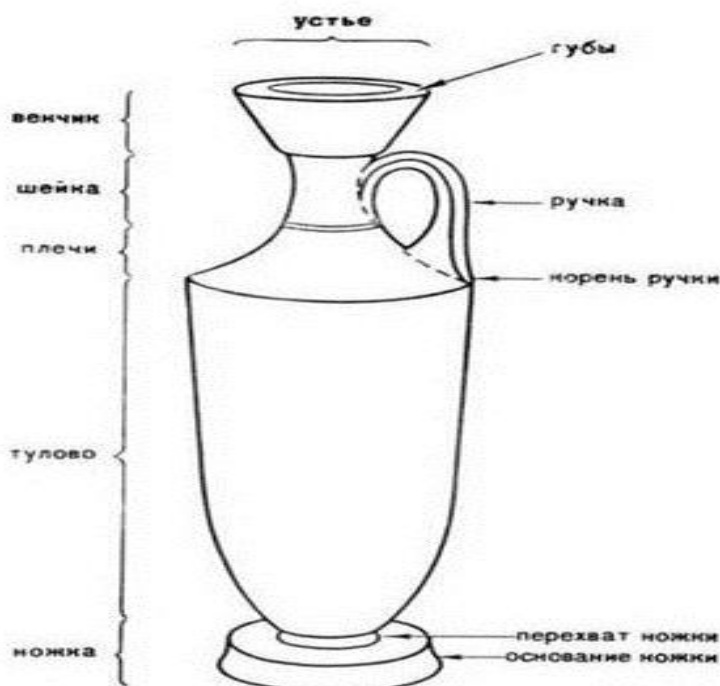


Рис 1. Составные части древнегреческого сосуда.

В зависимости от назначения менялись формы и размеры тулова, основания, шейки, ручки и других частей вазы. Все большее воплощение в вазах получал принцип удобства. Это привело к дифференциации ваз по признаку функции, что послужило причиной многообразия форм греческих сосудов.

Рассмотрим, как функция вазы определяло ее форму на примере некоторых из сосудов (табл. 1).

Таблица 1. Определение формы вазы ее функцией

Название	Форма	Функция	Соответствие принципу удобства
Гидрия		Сосуд для переноски воды	Наличие трех ручек: одна для ношения пустого сосуда и две других для поддержания сосуда с водой при его переноске на плече.
Псиктер		Сосуд для хранения вина. Охлаждали в кратере с водой	Форма псиктера была негативным воспроизведением внутреннего объема кратера. Удобство оперировать обоими сосудами.
Кратер		Кратер заполняли водой для охлаждения псиктера с вином	Внутренний объем кратера соответствовал форме внешней поверхности псиктера. Удобство оперировать обоими сосудами.
Амфора		Сосуд для хранения вина	Большой объем, широкое горло, удобное расположение ручек
Пелика		Сосуд для хранения воды, которой разбавляли вино	Удобное расположение ручек, расширяющееся горло препятствует затеканию воды на внешнюю поверхность вазы
Килик		Чаша для питья	Удобное расположение ручек для поддержки сосуда при питье
Лекиф		Сосуд для хранения масла	Расширяющееся горло препятствует затеканию масла на внешнюю поверхность сосуда

Таким образом, для каждой функции была найдена ваза наиболее удобной формы. Красота формы греческого сосуда является результатом компоновки его составных частей в соответствии с назначением. Функциональная дифференциация ваз привела к многообразию форм древнегреческой керамики.

### Литература

1. Воронов Н.В., Шестопал Я.Е. Эстетика техники. М., «Сов. Россия», 1972. – 176 с.
2. Греция Древняя (основные виды греческих ваз) // [http://megabook.ru/media/Греция%20Древняя%20\(основные%20виды%20греческих%20ваз\)](http://megabook.ru/media/Греция%20Древняя%20(основные%20виды%20греческих%20ваз))

**УДК 64.06****КОНЦЕПТ-ПРОЕКТ РОБОТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ДОМОМ БУДУЩЕГО**

Ирина Олеговна Косыгина

*Магистр 2 года,**кафедра «Промышленный дизайн»**Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана**Научный руководитель: А.Е. Алымова,**старший преподаватель кафедры "Промышленный дизайн"*

Технологии умного дома и интернета вещей с каждым годом становятся всё более популярными. Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) — это концепция вычислительной сети физических предметов, оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [1], рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаяющее из части действий и операций необходимость участия человека.

Рынок «Интернета вещей» в настоящее время переживает период бурного роста. По оценкам компании Ericsson, уже в 2018 году число датчиков и устройств IoT превысит количество мобильных телефонов и станет самой большой категорией подключенных устройств. Аналитики компании прогнозируют, что из приблизительно 28 млрд подключенных устройств по всему миру, к 2021 году, около 16 миллиардов будут связаны с IoT [2].

По оценкам «Директ ИНФО» российский рынок «Интернета Вещей» также активно развивается (рис. 1.).

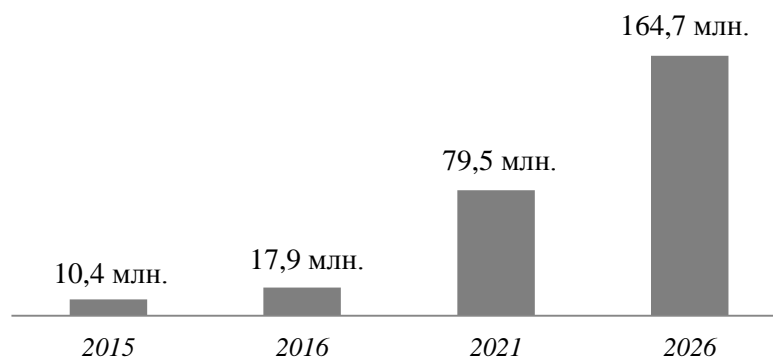


Рис. 1. Динамика роста российского рынка IoT.

Общий размер российского рынка IoT составил в 2016 году 17,9 млн устройств и вырос по сравнению с 2015 годом на 42 %. К 2021 году общее число IoT устройств вырастет до 79,5 млн, а к 2026 году — 164,7 млн. Общий потенциал российского рынка оценивается на уровне 0,5 млрд устройств [2].

В результате исследований сферы технологий умного дома и интернета вещей был обнаружен ряд проблем. Одна из них заключается в отсутствии решений, которые бы смогли объединить устройства от разных производителей в одну сеть. Обеспечение единообразного взаимодействия даже с серией устройств одного производителя является нетривиальной задачей для проектировщиков и дизайнеров, так как, несмотря на разнообразие физических интерфейсов, пользователь должен ощущать единство заложенного в услуге замысла.

Также по проведённым опросам, было выяснено следующее:

1. Набирает популярность тенденция одинокого образа жизни. Люди предпочитают не связывать себя долговременными отношениями, чтобы найти больше места и времени для самих себя.

2. В современном быстром ритме жизни не остаётся времени на общение с друзьями, уходом за домом и за домашними питомцами.

3. Антропоморфные роботы могут вызывать неприязнь и отпугивать пользователей. Существует эффект «зловещей долины» - гипотеза, по которой робот или другой объект, выглядящий или действующий примерно как человек (но не точно так, как настоящий), вызывает неприязнь и отвращение у людей-наблюдателей [3].

Таким образом, цель данной работы заключается в разработке концепции социального робота, который сможет связать между собой приборы от разных производителей, будет передвигаться самостоятельно и станет другом и помощником своему хозяину.

В результате был спроектирован робот Eуera (рис. 2).

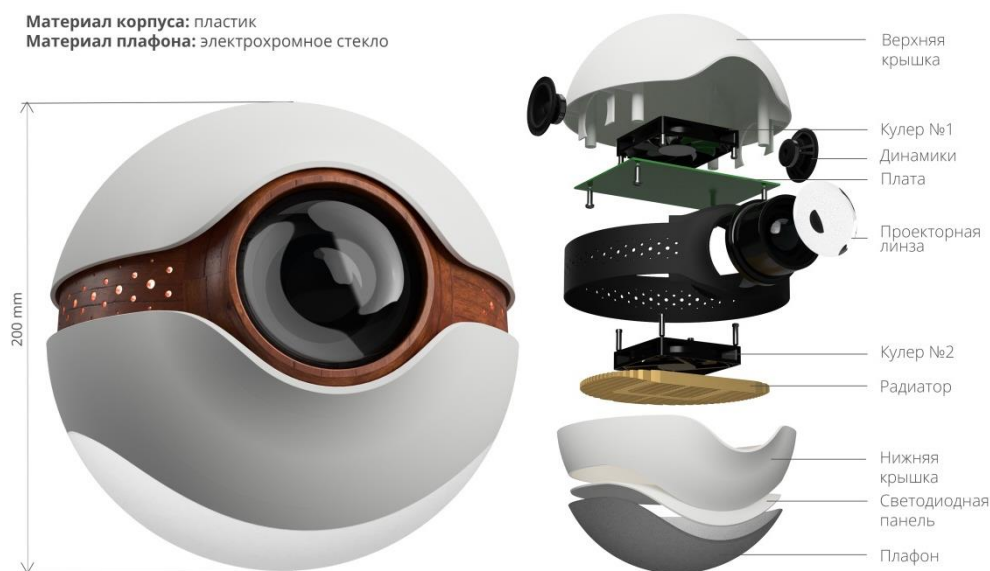


Рис. 2. Социальный робот Eуera и взрыв-схема робота.

Во-первых, он является центральным ядром, которое может интегрировать с бытовыми приборами от разных производителей. Реагируя на звуковые команды, он становится «дворецким» в управлении умным домом (рис. 3.).

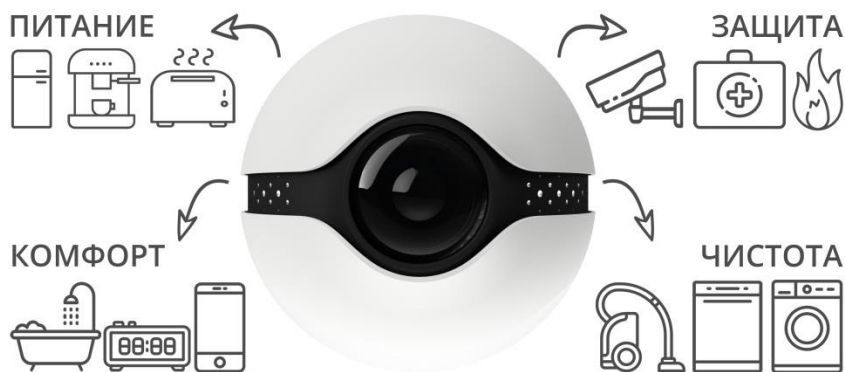


Рис. 3. Взаимодействие робота с умным домом.

Во-вторых, назначение данного робота в том, чтобы скрашивать человеческое одиночество: с ним можно общаться, он поможет приготовить блюда, выучить язык, напомнит о делах или поддержит комплиментом (рис. 4.).



Рис. 4. Взаимодействие робота с человеком.

Существующие концепты социальных роботов передвигаются по полу, но это не эффективно. Мебель, вещи, люди затрудняют их передвижение и доступ к объектам. Еуега не испытывает подобных проблем благодаря левитации. При необходимости, он может следовать за вами по всей квартире, например, освещая путь с помощью встроенного светодиодного светильника. Робот левитирует ближе к потолку, благодаря акустическим излучателям, встроенным в стены (встраиваются изначально при строительстве дома) (рис. 5).

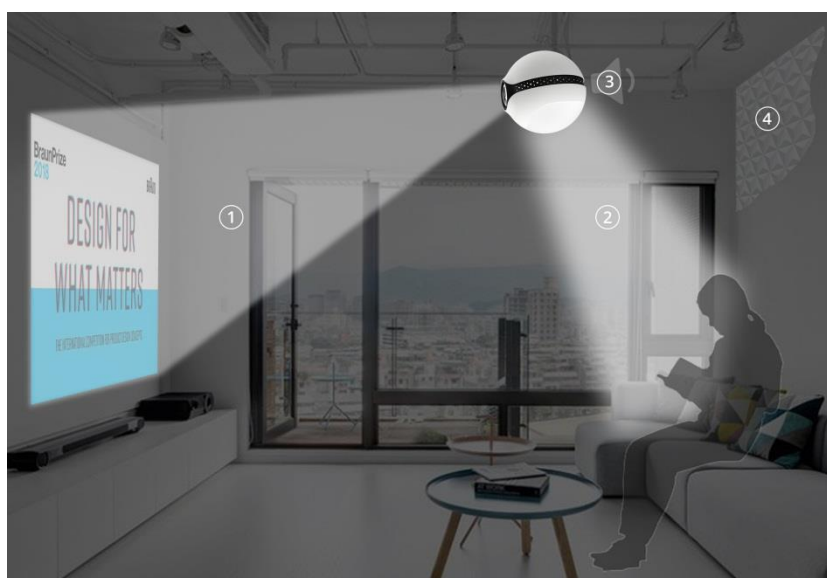


Рис. 5. Принцип работы социального робота Еуега.

1- проектор; 2- светодиодный светильник; 3- динамик; 4 - акустические излучатели, встроенные в стены.

В результате работы была достигнута поставленная цель – разработана концепция социального робота. Он объединяет устройства от разных производителей в одну сеть.

Благодаря своему широкому функционалу, робот может помочь человеку в ведении хозяйства в умном доме, а так же станет другом и учителем.

В ближайшем будущем технология умного дома будет доступна каждому. А разработанная концепция робота Eureka станет дружелюбным, полезным и послушным питомцем для своего хозяина.

### **Литература**

1. *Сэмюэл Грингард*. Интернет вещей. Будущее уже здесь. – М.: Альпина Паблишер, 2017. – 188 с.
2. *Рынок Интернета вещей и Промышленного Интернета в России и Мире* [Электронный ресурс] // Официальный сайт Директ ИНФО. URL: [http://www.directinfo.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=162%3A2010-07-06-13-57-09&catid=1%3A2008-11-27-09-05-45&Itemid=89&lang=ru](http://www.directinfo.net/index.php?option=com_content&view=article&id=162%3A2010-07-06-13-57-09&catid=1%3A2008-11-27-09-05-45&Itemid=89&lang=ru) (дата обращения: 11.02.2018).
3. *Митио Каку*. Искусственный разум и кремниевое сознание. – М.: Альпина нон-фикшн, 2015. – 502 с.

### **УДК 656.11**

### **ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ БУДУЩЕГО**

Арсений Сергеевич Марунич

*Студент 1 курса, специалитет  
кафедра «Колёсные машины»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т. И. Маслова,  
старший преподаватель кафедры «Инженерная графика»*

С каждым годом средняя скорость и темп движения транспортных средств в городе и вне его увеличивается. Чем выше скорость, тем больше вероятность дорожно-транспортного происшествия с причинением вреда человеку. Согласно статистике, примерно 1,2 миллиона человек погибают в год в результате ДТП. Это подчеркивает актуальность темы исследования. Цель данной работы заключается в формировании дизайн-концепции проезжей части будущего, которая должна быть удобна и безопасна для всех участников дорожного движения. Поставлены задачи рассмотрения системы безопасности автомобиля и мотоцикла, устройства дорог общего пользования и современных дизайн-проектов, способствующих повышению уровня организованности транспортного потока в будущем.

Дизайн-исследования современного состояния проезжей части в российских городах позволили выявить ряд проблем на дорогах:

- большие скорости транспортных средств;
- увеличение количества личного транспорта;
- неподготовленность дорог принять большое количество транспорта;
- отсутствие мест для парковки автомобилей (город стал ландшафтом из автомобилей);
- разногласия между автомобилистами и пешеходами, связанные с пересечениями последними проезжей части;
- качество дорог, от которого страдает допустимое время их эксплуатации.

Для решения этих проблем на российских дорогах необходимо изучить опыт зарубежных и отечественных дизайнеров. Например, замена в европейских странах перекрёстков со светофорами на круговые повышает собранность водителей и увеличивает проходимость.

В Голландии для увеличения безопасности на дороге в ночное время строительной компанией «Heijmans» был реализован проект «Дорога в будущее». В течение дня специально устроенные в дорожном полотне линии из люминесцентной краски аккумулируют энергию солнечного света и с наступлением темноты освещают проезжую часть [5].

Известно, что безопасность на дороге начинается с самого автомобиля и водителя. Сейчас у автомобилей есть множество систем активной и пассивной безопасности, либо предотвращающих аварию до её свершения, либо облегчающих последствия, если она неизбежна. Возможность внедрения каких-либо систем безопасности у мотоцикла ограничена его малыми размерами. Важно учитывать, что при серьёзной аварии мотоциклист часто вылетает из седла. Пешеходы на тротуаре и на пешеходном переходе не всегда могут чувствовать себя в полной безопасности. Для решения этой проблемы необходимо разграничить автомобили, мотоциклы и пешеходов за счет создания многоуровневой проезжей части. Интересна в этом плане идея Мельникова К.С., который предлагает сделать улицы города только для пешеходов. Проезжую часть он предлагает располагать на уровень ниже, что не требует уборки снега и обеспечивает защищенность от жары, ещё ниже - скоростные дальние движения [3].

В будущем полное соблюдение порядка на дороге может быть достигнуто благодаря связи между участниками движения и трассой. Учёные из Массачусетского технологического института подсчитали, что современные дороги смогут выдержать в два раза больше трафика, если убрать светофоры. В этом случае автомобили должны быть роботизированными и подключенными к Vehicle-to-Vehicle-системам [4]. Автомобили смогут «общаться» друг с другом, чтобы безопасно преодолевать перекрёстки. По мнению Питера Стоуна, доцента Техасского университета, специалиста по искусственному интеллекту, каждым перекрёстком должен управлять автономный интеллектуальный агент. По мере отлаженности и привычности подобных технологий, водить автомобиль вручную на дорогах общего пользования будет, скорее всего, вообще запрещено. Автомобили будут послушно пропускать пешехода, независимо от того, в каком направлении и с какой скоростью тот движется [2]. Это идеи на будущее, но уже сейчас есть, например, концепт шлема от Volvo для велосипедистов, который создан в интересах безопасности и велосипедистов, и водителей автомобилей. С помощью специального приложения велосипедист будет знать, что автомобиль пересекает путь в его направлении — сигнал будет подан с помощью светодиодов, встроенных в шлем. А водители получают на карте информацию о велосипедистах [1].

Таким образом, проезжая часть будущего представляет собой систему интерактивных «умных дорог», «умных перекрестков», созданных для компьютеризированных автомобилей ради удобства людей. Искусственный интеллект будет контролировать положение и скорость каждого транспортного средства индивидуально: его способность предугадывать все действия участников движения сведет вероятность аварии к нулю. Если мы смогли доверить компьютеру управление автомобилем сегодня, мы сможем доверить ему и управление всей дорожной системой в будущем.

## Литература

1. Велошлем от Volvo предупредит водителей и велосипедистов друг о друге // <https://geektimes.ru/post/243259/>



2. Машины без водителей — перекрёстки без светофоров // <https://geektimes.ru/post/139355/>
3. Мельников К.С., Архитектура будущего / Стригалёв А.А., Коккинаки И.В., Константин Степанович Мельников: архитектура моей жизни. Творческая концепция. Творческая практика, М., «Искусство», 1985 г., с. 136-137. // <http://vikent.ru/enc/1252/>
4. Tachet R, Santi P, Sobolevsky S, Reyes-Castro LI, Frazzoli E, Helbing D, et al. (2016) Revisiting Street Intersections Using Slot-Based Systems. PLoS ONE 11(3): e0149607. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149607>
5. Умные дороги в Европе и США // <http://roadtm.com/umnye-dorogi-v-evrope-i-ssha/>

## УДК 533.6.01

### ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИКИ НА ДИЗАЙН ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Мария Олеговна Ольховникова

*Студент 2 курса, бакалавриат*

*кафедра «Промышленный дизайн»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Алымова*

*старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»*

В современном мире наблюдается стремительное развитие технологий. Всего за один век максимальная скорость движения автомобиля выросла в 20 раз (с 63 до 1228 км/ч). Основные два аспекта, оказывающие влияние на этот параметр - мощность силового агрегата и аэродинамика корпуса, которая будет рассмотрена в работе. В статье описывается хронология развития формообразования корпусов транспортных средств под влиянием аэродинамических исследований и выявляются общие геометрические тенденции. Особое внимание уделено связи наиболее аэродинамичной формы с золотым сечением.

Рассмотрение геометрии аэродинамического кузова автомобиля начинается с основ аэродинамики. Две основные проблемы, которые необходимо учитывать при проектировании - это лобовое сопротивление и подъемная сила. Коэффициент аэродинамического сопротивления показывает, насколько легче «прорезает» воздушный поток спроектированная форма по сравнению с условным цилиндром, при равенстве максимальной поперечной площади. Согласно аэродинамическим исследованиям, наиболее выигрышной формой с точки зрения аэродинамики является форма капли.

Далее в работе рассматривается хронология развития аэродинамических корпусов. Приведена первая статья, в которой указывается на то, что аэродинамика будет влиять на внешний вид транспортных средств. Приведены первые серьезные аэродинамические исследования конструктора Ярая по выявлению идеальной геометрии для кузова автомобиля. Предложенные им формы позднее стали классическими.

Рассматриваются также отдельные модели автомобилей, наиболее значимые с точки зрения сближения аэродинамических исследований и дизайна: автомобиль-дирижабль «Alfa Romeo», Rumpler Tropfenwagen, обтекаемый лимузин «Maybach SW-38»,

Leу Т6, который можно назвать первым автомобилем, созданным на базе теории аэродинамики.

Отдельное внимание отведено уходу от аэродинамики в сторону декораторства, а именно стилю «стримлайн» в коммерческом промышленном дизайне в США. В этом разделе приводятся работы таких дизайнеров, как Норман Белл Геддес, Бакминстер Фуллер, Реймонд Фердинанд Лоуи. Упомянется и значимое событие - всемирная выставка, на которой одним из важнейших направлений был автомобильный дизайн. Наравне с автотранспортом рассматриваются также примеры аэродинамических корпусов паровозов PRR GG1, PRR S1.

Особое внимание уделяется дизайну транспортных средств в СССР на примере работ основоположника отечественного промышленного дизайна Ю.А. Долматовского, художника-конструктора Эрика Сабо, Г.В. Самойлова. Проведено сравнение отечественных и зарубежных разработок, показывающее сходство проектов в Советском союзе и за границей.

Переходя к одной из самых сложных сфер, где связывается аэродинамика и дизайн, хочется вспомнить цитату одного из самых значимых авиаконструкторов мира: "Некрасивая машина никогда не будет летать", -говорил А.Н. Туполев. Эту цитату цитату можно понять следующим образом: если мы сравним пропорции наиболее аэродинамичной формы-тондо с логарифмической спиралью, в которой наглядно видны пропорции золотого сечения, то увидим, что их геометрия одинакова. Более глобально это можно понять так: если форма ЛА аэродинамична, то она будет по красива по пропорциям и геометрии, так как есть будет соответствовать золотому сечению.

Тогда почему нельзя пойти от обратного? Если создать красивый с точки зрения пропорций, например, самолёт, то он будет аэродинамичен. Думаю, что этот подход необходим при проектировании транспортных средств, потому что может позволить прийти к очень интересным результатам, до которых одни инженеры самостоятельно не дошли бы.

Ведь подобные ситуации уже встречались в истории искусства и науки. В конце 19 века течение постимпрессионизма, называвшееся пуантализм, обогнало научные открытия в оптике. Художники рисовали точками, небольшими пятнами чистой краски, понимая, что в глазу происходит смешение нескольких чистых красок в оттенок, в зависимости от того, в каком соотношении взято количество определенных точек на отдельном участке. Живописцы также открыли разложение света на спектр, рисуя белые объекты с примесями различных цветов. Можно найти еще множество примеров, как инженерный подход, отличающийся точностью и математичностью, и дизайнерский, характеризующийся интуитивностью, приводят к одним результатам. Подобное можно заметить на примере работ дизайнера Росса Лавгроува, проекты которого, например, стулья, похожи на идеально присчитанные для прилагаемых нагрузок изделия. При этом он действовал чисто интуитивно, изучая геометрию скелетов, обосновывая это тем, что лучшие решения уже придуманы природой в процессе эволюции: наиболее прочные, экономичные по материалу, что позволяло им выжить и конкурировать с другими видами.

Весь материал, изученный в процессе исследования, поспособствовал усвоению базовых знаний по аэродинамике, которые будут необходимы в дальнейшем для проектов по разработке транспортных средств. Полагаю, что информация, изложенная в данной статье, будет полезна и специалистам из других профессиональных сфер. Полезна не только с точки зрения получения знаний по аэродинамике, но и идеями межпрофессионального сотрудничества, потому что совокупность методов, используемых специалистами разных профессий, может привести к результату, способному изменить мир.

## Литература

1. Михайлов С. История дизайна. Т.1. М.: Союз дизайнеров России, 2002. 187 с
2. Михайлов С. История дизайна. Т.2. М.: Союз дизайнеров России, 2003. 196 с
3. Лаврентьев. История дизайна. М.: Гардарики. 2007 г. 305 с
4. Рунге В.Ф. История дизайна, науки и техники. М.: Архитектура-С, 2006 370 с
5. Кавешникова Н.А. Дизайн: история и теория. М.: Омега-л, 2009. 202 с
6. <http://365cars.ru/istoriya/rekordyi-skorosti.html> (дата обращения 5.03.2018)
7. <https://info.drom.ru/misc/43517/> (дата обращения 5.03.2018)
8. <http://www.fizika.ru/fakultat/index.php?theme=14&id=14230> (дата обращения 5.03.18)
9. <http://www.a-goncharov.ru/article/09.html> (дата обращения 5.03.2018)

## УДК 624.21/.8

### МОСТ КАК СРЕДСТВО ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ

Илья Андреевич Попов

*Студент 1 курса, бакалавриат*

*кафедра «Системы обработки информации и управления»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т. И. Маслова,*

*старший преподаватель кафедры «Инженерная графика»*

При проектировании дорог перед инженерами встают задачи по преодолению различных препятствий. Ими могут быть горы, реки, мягкий грунт и т.д. Преодолеть подобные препятствия можно с помощью возведения мостов, бурения тоннелей, поиска обходных маршрутов.

В данной работе поставлена цель рассмотреть дизайнерский подход к решению проблемы, возникшей в китайской провинции Хубэй при строительстве дороги от автострады Бибана до округа Хингшан. Поставлены задача изучения применения латерального мышления для решения возникшей проблемы.

«Дизайн – это осознанный процесс принятия решений, в результате которого ...идея превращается в результат» [1; с. 6]. Как известно, у инженеров традиционное вертикальное мышление, основанное на логике и математике, где движение мысли происходит последовательными шагами, каждый из которых должен быть обоснован. Стандартный подход лишает нас массы альтернатив, свежих идей, прорывов, открытий, возможности развития и изменений. А латеральное мышление избавляет от стереотипов и создает новые модели – оригинальные и творческие, поскольку привлекает интуицию. Этот способ мышления включает креатив, инсайт, юмор [1; с. 31].

Необходимость строительства нового шоссе в провинции Хубей возникла в 2013 году. Его строительству препятствовала гора. Перед инженерами стояла задача проложить новый маршрут. Для преодоления горных преград обычно используют трассы в виде серпантина, горные тоннели.

Недостатками горных серпантинных дорог являются: большое время для пересечения серпантинного участка дороги, относительная опасность в виде частых резких поворотов и отсутствия ночного освещения, непригодность для использования железнодорожного транспорта, повреждение экосистемы при строительстве. плюсов можно выделить скорость возведения. Бурение горных тоннелей – более быстрый по сравнению с серпантинной дорогой, но сложнее в строительстве и проектировании, так как не каждый тип горной породы годится для бурения тоннеля.

Жители провинции Хубей совсем не желали жертвовать свои земли для строительства дороги, экологи выступали против подкопа горного склона. Участок шоссе должен был стать альтернативой горному серпантину, тоннелю и сократить путь из Shanghai в Chengdu провинции Hubei. Были рассмотрены три варианта решения данной проблемы, два из которых представляли собой тоннель и серпантин, а третий, пусть более дорогой, считался экологическим, так как при строительстве не пришлось разрушать горы и удалось избежать масштабной вырубке лесов. Проект представлял из себя трассу в обход горы (рис. 1; 2), включающую в себя участок в виде моста балочного типа длиной 4 км вдоль русла реки [2; 4]. Трассу окрестили "Over-Water Highway" ("Шоссе над водой") [3]. Креативное решение было принято благодаря латеральному мышлению китайского архитектора и дизайнера Чена Ксингда, который предложил концепт дороги с использованием речного русла. Переделав излюбленную фразу дизайнерского среде середины XX века, гласившую, что «дизайнер проектирует не мост, а средство переправы» [1; с. 10], получится следующее: дизайнер проектирует не мост, а средство преодоления препятствия.



Рис. 1. Шоссе над водой [3].



Рис. 2. Шоссе над водой. Вид со спутника.

<https://www.google.com/maps/@31.2946247,110.7495824,3280a,35y,304.07h,13.09t/data=!3m1!1e3?hl=ru-RU>

Таким образом, «шоссе над водой» («Zhaojun Bridge»), мост в китайской провинции Хубей, является примером латерального подхода к преодолению препятствия.

### Литература

1. Мухеева М.М. Введение в дизайн-проектирование: по курсу «Введение в профессию». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013 г. - 49 с. // <http://design.bmstu.ru/ru/metodichki/Bakalavriat/Vvedenie%20v%20professiiu.pdf>
2. Мост прямо по реке в Китае – необычное решение для достижения консенсуса // <https://eco-turizm.net/8155-most-priamo-po-reke-v-kitae-neobychnoe-reshenie-dlya-dostizheniya-konsensusa.html>
3. Over-Water Highway в Китае от Чена Ксингда // [http://architime.ru/news/chen\\_xingda/over\\_water\\_highway.htm](http://architime.ru/news/chen_xingda/over_water_highway.htm)
4. Экологический «чудо мост» в Китае // <https://magura-magu.livejournal.com/715228.html>

### УДК 7.05

### АСПЕКТЫ «ДОБРОДЕТЕЛЬНОГО» ДИЗАЙНА

Виктория Константиновна Щирская

*Студент 1 курса, бакалавриат*

*кафедра «Биомедицинские технические системы»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т. И. Маслова,*

*старший преподаватель кафедры «Инженерная графика»*

Цель проекта: рассмотреть три стороны развития дизайна для инвалидов. Поставлены задачи: отметить особенности данного направления дизайна, обозначить трудности его развития в нашей стране, выявить проблемы и потребности инвалидов, предложить альтернативные изделия для людей с ограниченными возможностями здоровья.



Дизайн для инвалидов называют добродетельным [2; с.72], универсальным, инклюзивным, в основу которого положена «идея экологической и социальной справедливости» [1; с. 3]. До настоящего времени города строили не просто без учета потребностей людей с ограниченными возможностями, а для «некоего физического совершенства», которому может соответствовать лишь малая часть людей [1; с. 3-4].

Актуальность инклюзивного дизайна объясняется необходимостью решения социально значимых задач:

- продления активного долголетия инвалидов;
- сокращения социальных дистанций между поколениями и социальными стартами;
- модернизации системы социальной защиты;
- выработки современных подходов к решению проблемы жилья для людей с особыми потребностями.

Существуют пробелы в правовом поле Российской Федерации, затрудняющие развитие инклюзивного дизайна, доступность, контроль и участие пользователей в проектировании и разработке искусственной среды. Имеются трудности реализации инвалидом независимого стиля жизни в своем городе, в своей квартире.

Маломобильные люди склонны считать себя «бременем» для семьи. Барьеры городского пространства порой снижают качество их жизни, мешая удовлетворению базовых потребностей:

- потребность здоровья, самообслуживания, безопасности;
- потребность в экономической самостоятельности, выполнении семейных ролей;
- потребность в общении, саморазвитии;
- потребность в дружественной, толерантной социокультурной городской среде, повышающей ощущение психологического и эстетического благополучия [1; с. 30].

В таблице представлены аспекты дизайна для инвалидов:

- городская среда;
- быт;
- средства передвижения.

Предложены объекты городской среды и варианты изделий для людей с ограниченными возможностями.

Табл. 1. Аспекты «добродетельного» дизайна.

Аспекты	Городская среда	Быт	Средства передвижения
Объекты	Негладкая плитка, удобные лавочки, правильные бордюры	Выключатели, удаление порогов на балкон, небьющаяся посуда, вилки, ножи	Кресла-коляски, скутеры, ходунки, трости
Иллюстрации			

Описание	Именно обустройство городской среды влияет на высоту социального барьера между обычными людьми и людьми с особенностями здоровья. Из-за отсутствия универсального дизайна для всех инвалиды чувствуют себя неуверенно и годами не выходят из дома.	Разработка специальных кухонных приборов снизит риск получения увечий во время приготовления или приема пищи. А выключатель, находящийся на оптимальном уровне для людей разного роста, заметно облегчит жизнь	Во все времена передвижение людей с особенностями здоровья вызывало затруднение. Сейчас же разработано множество помощников: от одинарного костыля/трости до специальных скутеров с удобными сидениями, чтобы не нарушать кровотока
----------	--	--	---

### Литература

1. *Наберушкина Э.К.* Мобильное гражданство инвалидов в социальном пространстве города: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. соц. наук (22.00.04) / Наберушкина Эльмира Кямаловна; ФГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина». - Саратов, 2013. - 40 с.
2. *Фиел, Шарлотта.* Энциклопедия дизайна. Концепции. Материалы. Стили / Шарлотта Фиел. Питер Фиел; пер. с англ. А.В. Шипилова. – М.: АСТ: Астрель, 2008, - 192 с.; ил.

## Секция X

### Оборудование и технологии прокатки

Председатель:

**Семенов Иван Евгеньевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-10

Ученый секретарь:

**Миронова Мария Олеговна**

ассистент кафедры МТ-10



УДК 621.74

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТОРМОЗА ДЛЯ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Александр Сергеевич Бойко

Студент 6 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.О. Миронова,  
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Непрерывная разливка стали - сложный процесс получения из жидкой стали слитков – заготовок, формируемых непрерывно по мере поступления жидкого металла с одной стороны кристаллизатора и вытягивания частично затвердевшей заготовки с противоположной стороны.

Одной из основных задач при разливке тонких слябов остается решение проблемы улучшения чистоты стали по содержанию неметаллических включений за счет предотвращения их попадания в растущую корочку тонкого сляба.

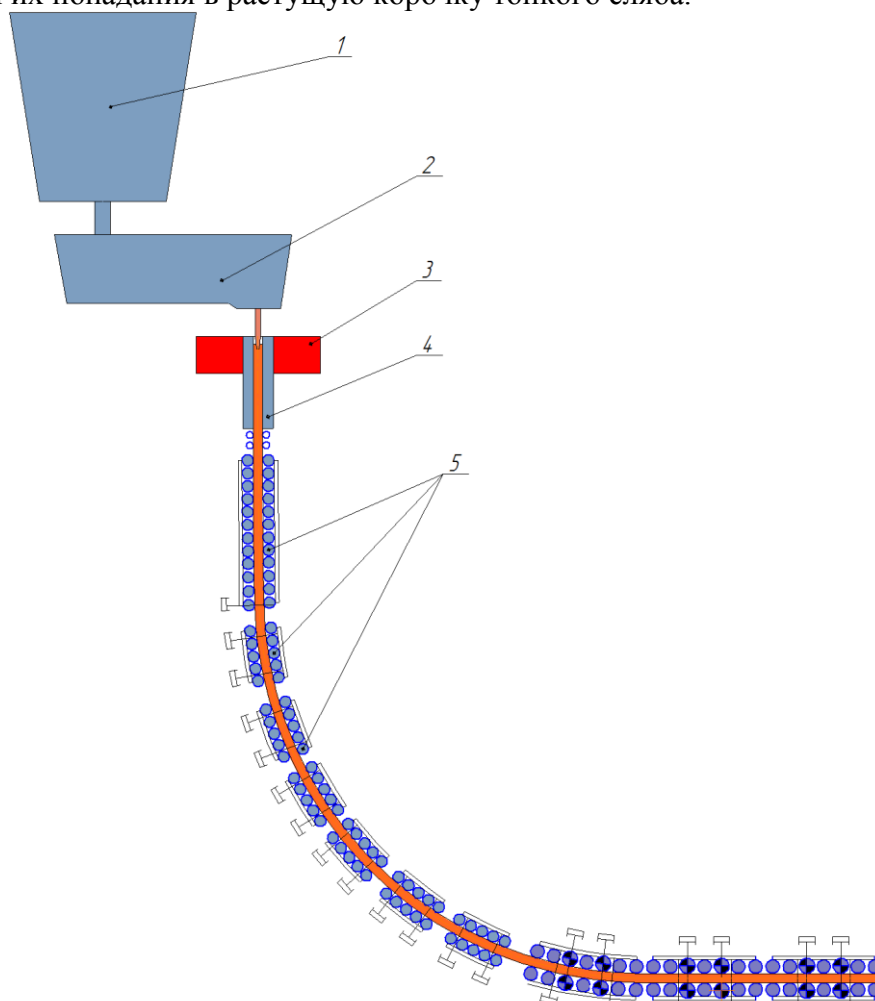


Рис.1. Схема машины непрерывной разливки стали: 1 – сталеразливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – электромагнитный тормоз; 4 – кристаллизатор; 5 – сегменты роликовой проводки.

В процессе разливки неметаллические включения, например, частицы покровного шлака промежуточного ковша и продукты раскисления, могут легко попадать в сляб. Риск попадания неметаллических включений увеличивается с повышением скорости литья, поскольку из-за возрастающей скорости потока на мениске образуются области повышенных скоростей и возможен захват шлака кристаллизатора в тело формирующейся заготовки. Наличие таких примесей в затвердевшем металле серьезно ухудшает качество стали.

Для устранения данной проблемы разработаны и запатентованы системы под названием «электромагнитный тормоз» (рис.1). Устройство работает по принципу постоянного магнитного поля, тормозящего потоки металла в кристаллизаторе, и позволяет скорости разливки и температуре быть одинаковой по всей ширине заготовки.

Параметры настройки электромагнитного тормоза зависят напрямую от характеристик машины непрерывного литья заготовок. В данной работе представлены описание устройства и методы проведения испытаний для его настройки.

### Литература

1. *Anders Lehman, Göte Tallbäck.* Electromagnetic braking improves steel quality in continuous casting.// ABB Industrial Systems AB.
2. *Исаев О.Б.,* д.т.н. Конспект лекций по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали».
3. *Мирсалимов В.М., Емельянов В.А.* Напряженное состояние и качество непрерывного слитка. М.: Metallurgia. 1990. – 151 с.
4. *Емельянов В.А.* Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. – М.: Metallurgia, 1988. – 143 с.
5. *Wolf, M.M.,* History of Continuous Casting, in Steelmaking Conf. Proc. 1992, Iron & Steel Society, Warrendale, PA: Toronto, Canada. p. 83-137
6. *Thomas, B.G. and S.P. Vanka:* Study of Transient Flow Structures in the Continuous Casting of Steel. in NSF Design & Manufacturing Grantees Conference. 2000. Vancouver, Canada: NSF, Washington, D.C.

УДК 621.778

## ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В МЕТОДАХ ВОЛОЧЕНИЯ СПЛОШНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Руслан Александрович Ванин

*Студент 2 курса, бакалавриат  
кафедры «Математики и физики»,  
Государственный гуманитарно-технологический университет*

*Научный руководитель: В.М. Скоромнов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Математики и физики»*

В результате информационного обзора методов волочения сплошных профилей установлено, что реализация физических эффектов в процессе волочения позволяет улучшить технико-экономические показатели процесса волочения и повысить точность геометрических размеров и чистоты поверхности.

В работе [1] представлены результаты сравнительного эксперимента метода волочения инструментами с иррегулярным (ИМР) и регулярным (РМР) микро рельефами рабочих поверхностей.

Опытные волокна изготавливались из стали марки 9ХС (твердость после термообработки 58...61HRC) с углом заборного и обратного конусов  $5^\circ \pm 1^\circ$ , шириной калибрующей ленточки около 5мм и ее диаметром  $20^{+0,03}$  мм.

ИМР формировался шлифованием с высотой максимального микровыступа  $H_{\max} = 7...11$  мкм.

РМР формировался на аналогичном ИМР алмазным выглаживателем радиусом 1,5мм в виде однозаходных винтовых канавок с шагом ( $Ш_k$ ) 0,5 и 1мм и глубиной ( $Г_k$ ) 4...10,25 мкм. При этом, за нулевые параметры РМР ( $Ш_k = Г_k = 0$ ), условно принимали параметры ИМР. В качестве экспериментальных образцов-заготовок использовали цилиндрические штоки из стали 40Х с  $HV = 1890$  МПа и номинальной длиной 150мм. Образцы протягивали на специальном приспособлении, на вертикальном гидравлическом прессе, путем захвата каждого штока за резьбовой участок. Скорость волочения соответствовала 1 м/мин, применяемая технологическая смазка – технический солидол с добавкой мелкодисперсного дисульфида молибдена. Номинальный натяг пластического деформирования  $i_n$  варьировался в пределах 0,1...0,5мм с интервалом 0,1мм.

В результате испытаний было установлено, что РМР по сравнению с ИМР позволяет существенно (до 35%) уменьшить усилие обработки и соответственно повысить стойкость волочильного инструмента. При этом отмечалось такое же и даже более высокое качество поверхностного слоя. Это объясняется дополнительным воздействием РМР на обрабатываемый материал на микроуровне, так как каждый микровыступ РМР является отдельным микроиндентором, реализующим единичный цикл дополнительной микродеформации.

В работе [2] представлены результаты экспериментальной реализации «эффекта Баушингера» в методах комбинированного деформирующе-режущего волочения.

Для проверки данного решения были изготовлены шариковые деформирующие и соответствующие им режущие фильеры. Шариковые фильеры осуществляли предварительное (опережающее) деформирование с образованием продольных стружкоразделительных канавок. Последующее резание осуществлялось как в направлении, так и против направления предварительного деформирования. В качестве экспериментальных образцов – заготовок применялись цилиндрические штоки из стали 45.

В результате проведенных исследований установлено: при резании без предварительного деформирования образуется кольцевая плохо разделенная стружка и низкое качество обработки; при предварительном деформировании шариковой фильерой на краях выдавленных канавок образуются «наплывы» обрабатываемого материала; при резании против направления предварительного деформирования обеспечивается снижение удельного усилия резания на 8% и повышение размерно-геометрической точности получаемых изделий до 3-х раз по сравнению с резанием в направлении предварительного деформирования; при резании по предварительно деформированному слою в обоих случаях существенно улучшается процесс стружкообразования – стружка легко разделяется на отдельные фрагменты.

В работе [3] представлен способ волочения тугоплавких металлов и сплавов в условиях эффекта сверхпластичности, получаемого за счет нагрева инертного газа подаваемого под давлением в замкнутую полость между рабочей волокой и напорным элементом.

Указанный способ волочения в условиях сверхпластичности позволяет: осуществлять волочение тугоплавких металлов и сплавов, снизить усилие волочения, повысить стойкость инструмента, увеличить геометрическую точность и чистоту поверхностного слоя профилей.

### **Литература**

1. *Скоромнов В.М.* Разработка и исследование метода комбинированного редуцирования инструментом с регулярной микрогеометрией: Диссертация кандидата технических наук. – М.МГТУ МАМИ, 2004 – 227 с.
2. *Щедрин А.В., Бекаев А.А., Скоромнов В.М., Ульянов В.В., Кембу Г.С., Козлов А.Ю.* Рациональная область применения эффекта Баушингера в комбинированных методах волочения // Автомобильная промышленность. 2012. №6. С. 35-38.
3. *Колмогоров Г.Л., Карлинский В.Л., Мельникова Т.Е., Трофимов В.Н.* Способ волочения: пат. 2040354 Российская Федерация. 27.07.95. Бюл. №21. 3 с.

**УДК 621.771.074**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА W-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ**

Константин Алексеевич Васильев

*Студент 6 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Лепестов,  
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Калибровка валков является основой технологического процесса профилирования. Задачей калибровки является получение из плоской исходной заготовки профиля заданной конфигурации. На процесс калибровки оказывают влияние различные факторы: конструкция профилегибочного стана, его мощность, свойства профилируемого металла, требования потребителей по допускам на размеры и другим показателям качества. Чем меньше переходов при калибровке, тем меньше пар валков нужно изготавливать и тем менее трудоемким должно быть производство профиля.

Однако при меньшем количестве переходов требуется увеличение углов подгибки, которые не должны превышать предельно допускаемых значений, определяемых рядом факторов: способностью металла к деформации, конструкцией и формой калибра валков, условиями задачи полосы в калибр и др. Кроме того, уменьшение количества технологических переходов при формовке профиля связано с повышением энергозатрат и увеличением износа валков.

В данной работе рассмотрены особенности W-образного профиля, влияющие на калибровку валкового инструмента. Приведен обзор видов калибровок при производстве гнутых профилей. Также рассматриваются возможные проблемы при профилировании данного профиля разными видами калибровок и пути их решения.

### **Литература**

1. *Тришевский И.С.* Калибровка валков для производства гнутых профилей проката. – Киев: Техника, 1980. – 168 с.

УДК 621.771

**ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ВВЕДЕНИЕМ В ЕЕ СОСТАВ ЛЕНТЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ХРУПКИЕ ПОКРЫТИЯ, РАСЧЕТ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТ**

Виктор Петрович Восторгин

*Студент 6 курса,**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: И.В. Кожевников,**старший научный сотрудник НИИ КМ и ТП кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Начиная со второй половины XX века в мире большое внимание уделяется использованию технической сверхпроводимости, открывающей большие перспективы прежде всего в энергетике. До настоящего времени, несмотря на многочисленные сообщения об открытии высокотемпературных сверхпроводников, лидером среди сверхпроводников остается интерметаллическое соединение  $Nb_3Sn$ , обладающее высокими критическими значениями плотности тока и магнитного поля, приемлемыми значениями температуры сверхпроводящего перехода среди сверхпроводников «работающих» в диапазоне гелиевых температур ( $4^\circ K$ ).

Существенной особенностью этого сверхпроводника является абсолютная хрупкость,  $\epsilon_{\text{разр}}$  при растяжении составляет, согласно литературным исследованиям 0,3 – 0,4%. Собственные экспериментальные исследования показали, что лента-заготовка теряет свои сверхпроводящие способности при превышении деформации 0,15 – 0,20%. График токонесущей способности представлен на рисунке 1.

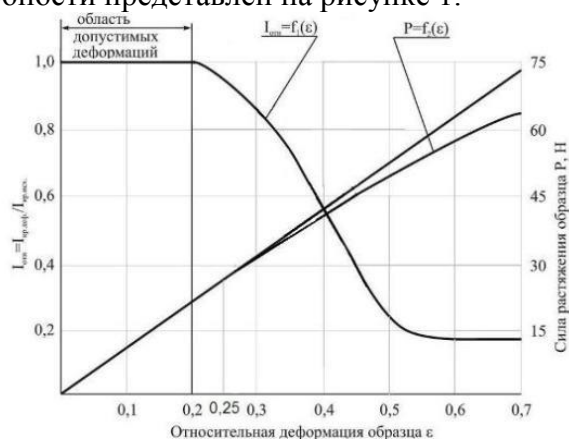


Рис.1. Токонесущая способность в зависимости от деформации при растяжении ленты-заготовки

- Ось абсцисс "Относительная деформация образца  $\epsilon$ " (%)
- Первая ось ординат:  $I_{\text{отн}} = I_{\text{деф}} / I_{\text{исх}}$  от "0" до "1"
- Вторая ось ординат, "Сила растяжения образца, Р (Н)"
- 0 – 0,2% область допустимых деформаций.

В связи с этим обстоятельством применяют его в виде тонких покрытий 2-5 мкм на сторону на подложках из Nb толщиной 15-20мкм. Такую Nb-Sn ленту можно без ущерба для токонесущих свойств сматать в рулон  $d=30-40$  мм. В соленоиде они

необратимо теряют сверхпроводящее состояние в сильных магнитных полях при значениях плотности тока существенно меньшем критического (предельно допускаемого в сверхпроводящем состоянии) значения, демонстрируемого в коротких образцах. В соответствии с предложением А. Кантровица и З. Стекли, описавших механизм этого явления и предложивших способ его предупреждения, недостаток устраняется путем «тепловой стабилизации» Nb-Sn ленты, заключающейся в нанесении на ее поверхности несверхпроводящего металла с низким удельным сопротивлением при температурах эксплуатации соленоида, например, меди.

Задача по созданию процесса получения композиционной ленты с введением в ее состав ленты с хрупкими покрытиями была поставлена АН СССР перед НПО ВНИИМЕТМАШ. Для ее решения была привлечена кафедра «Автоматизация и механизация прокатного оборудования» МВТУ им. Н.Э. Баумана. Под руководством А.Г. Целикова был создан стан для получения многослойной сверхпроводящей композиции лент дуо 160. Сверхпроводником являлся слой Nb<sub>3</sub>Sn. Но в последующей работе стана были выявлены следующие недостатки: смещение лент с линии технологического процесса, разрыв лент. Данные недостатки являлись последствием дефектных заготовок лент. Наибольшую проблему представляла ребровая кривизна.

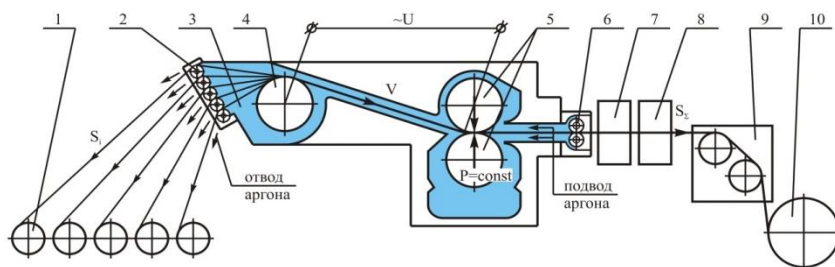


Рис. 2. Схема процесса получения многослойной ленты: 1 – рулоны лент-заготовок; 2 – направляющие ролики; 3 - зона с контролируемой атмосферой; 4 – опорный ролик; 5 – обогреваемые валки; 6 – выводные ролики; 7 - измеритель толщины композиции; 8 – измеритель сплошности композиции; 9 - измеритель натяжения; 10 – рулон готовой ленты.

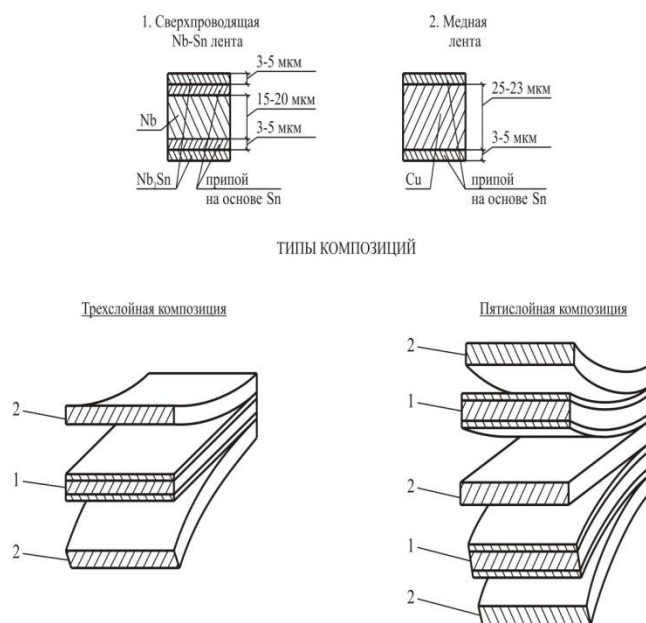


Рис. 3. Основные варианты ленточных композиций: исходные составляющие ниобий-оловянная (1) и медные (2) ленты, трехслойная (3) и пятислойная (4) композиции.

Решение данной проблемы было найдено при помощи модернизации узла разматывателя и входных роликов в стане, а также был произведен перерасчет сил начального натяжения перед компоновкой в пакет лент и перераспределения их на контактном ролике для определения их значений в зоне нагрева непосредственно перед пайкой и в очаге деформации.

Выводы:

1. Проведен анализ предложенных ранее способов получения многослойных ленточных композиций с введением в состав ленты с хрупкими покрытиями.
2. Названы главные недостатки анализируемых технологий.
3. Предложена технология получения многослойных ленточных композиций с введением в состав ленты с хрупкими покрытиями, в которой названные недостатки отсутствуют.
4. Способ приемлем для получения ряда многослойных материалов на базе высокотемпературных сверхпроводников, имеющих низкие прочностные качества.

### Литература

1. Патент США № 2.333.343 Кл.29-4709 за 1943 г.
2. Материалы конференции "Проблемы сверхпроводящих материалов". 1970 г.
3. *Свалов Г.Г., Белый Д.И.* Сверхпроводящие и криорезисторные обмоточные провода. – М.: Энергия, 1976. – 168 с. с ил.
4. *Альтов В.А., Зенкевич В.Б., Кремлев М.Г., Сычев В.В.* Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем. – М., Энергоатомиздат, 1984. 312 с. с ил.
5. Отчет ЦНИИЧЕРМЕТ "Разработка и опробование на ЛСПЗ технологии получения ленты со сверхпроводящим покрытием типа 70Б". Инв. № Б185135. ВНИИЦ.
6. Авторское свидетельство №1078795 от 8 ноября 1983 г. «Способ изготовления многослойной ленты и стан для его осуществления».
7. *И.В. Кожевников, Ю.М. Панфилов.* Стан для изготовления многослойной композиционной ленты. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ реф. сборник 1-82-21 подписано к печати 27.10.82 г.
8. Стан для изготовления многослойной ленты. Журнал «Производство проката №6 2013, с.43-46.
9. Получение ленточной композиции, содержащей слои с хрупким покрытием. Журнал «Производство проката» №4 2015 г., с. 25-30.

УДК 621.771

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА НАТЯЖЕНИЯ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОНКОЛИСТОВОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ДВУХЗОННОГО К ОДНОЗОННОМУ ПРОЦЕССУ ОТСТАВАННЯ

Александр Олегович Галкин

*Магистр 1 года,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский государственный технический университет*

Научный руководитель: А.В. Алдунин,

доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Данная работа посвящена анализу снижения давления при прокатке полос с применением однозонного процесса отставания. С использованием основных зависимостей теории прокатки выполнены результаты расчетов силовых параметров холодной прокатки тонких стальных полос с задним натяжением. Проверка расчетов по зонам отставания и опережения выполняли путем сравнения относительного напряжения в нейтральном сечении. При несовпадении этих значений методом итерации подбирали значения коэффициента нейтрального сечения. Результаты расчетов процесса прокатки полос начальной толщиной 1–5 мм представили в виде графической зависимости снижения среднего относительного напряжения от толщины заготовки на 21–50 %. Данная графическая зависимость описана регрессивным уравнением. Установлено снижение среднего относительного напряжения на поверхности контакта с прокатными валками при переходе от двухзонной к однозонной прокатке отставания, что позволяет увеличить срок службы прокатных валков.

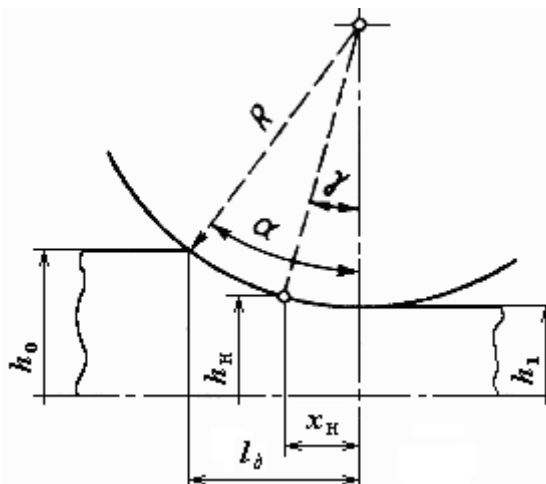


Рис 1. Геометрические параметры при листовой прокатке

### Литература

1. Алдунин А.В., Русаков А.Д., Трайно А.И. Исследование и разработка технологий производства стальных полос. – Ssrbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 170 с.
2. Кохан Л. С., Алдунин А. В. Снижение давления при прокатке полос с применением однозонного процесса отставания. Сообщение 2. // Технология металлов. – №7. – С. 27-32

УДК 621.771

### РЕКОНСТРУКЦИЯ МОТАЛКИ СТАНА 2000

Елена Сергеевна Горбунова

Студентка 6 курса,

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана



*Научный руководитель: А.В. Иванов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

*Научный консультант: А.Б. Красовский,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника и промышленная электроника»*

Широкое применение электропривода (автоматизированного электропривода) в металлургии и тяжелом машиностроении обусловлено его уникальными свойствами: высоким КПД электродвигателей (около 90%); достижением максимального крутящего момента с начала запуска электродвигателя, что позволяет избежать использования передаточных механизмов; возможность осуществления торможения непосредственно самим электродвигателем. Более того, низкая стоимость эксплуатации и ремонта позволяет при выходе из строя элементов или в целом электродвигателя произвести его замену без крупных финансовых затрат. В то же время, электропривод относится к классу экологически чистых приводов в связи с отсутствием выброса вредных продуктов в атмосферу.

Производительность металлургических агрегатов и качество проката существенно зависят от характеристик привода. Так неправильная настройка электропривода моталки может привести к дефектам при намотке полосы и не обеспечить необходимое натяжение полосы в последней клетке. Поэтому следует должное внимание уделять улучшению силовой части привода, средствам и методам управления и автоматизации.

В приводе моталки широкополосного стана горячей прокатки 2000 используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Выбор именно этого типа электродвигателя обусловлен хорошими регулировочными свойствами при относительно простой и дешевой системе управления. Но при этом, приходится сталкиваться с рядом существенных недостатков привода: возникновение искрений в коллекторном узле, быстрый износ графитовых щеток (двигатель может подвергаться ремонту свыше пяти раз за год), высокая себестоимость, низкие массогабаритные показатели. Более того, требования, предъявляемые к приводу моталки, имеют ряд особенностей, а именно: широкий диапазон регулирования скоростей, обеспечение постоянства натяжения полосы металла в установившемся режиме, режимах ускорения и замедления, торможения, остановки.

Были рассмотрены возможности реконструкции электропривода моталки стана горячей прокатки 2000 на новый тип управляемого электродвигателя – вентильно-индукторный двигатель (ВИД). Данный интерес со стороны ведущих мировых разработчиков различных систем с электрическим приводом обусловлен многочисленными преимуществами по сравнению с уже используемыми электродвигателями. ВИД имеет ряд таких достоинств, как возможность изменения частоты вращения в широком диапазоне, высокая надежность, простота конструкции, высокие эксплуатационные характеристики, в том числе и при неблагоприятных внешних условиях (высокие или низкие температуры, высокая загрязненность).

Целью данной работы является оценка перспектив модернизации вспомогательного прокатного оборудования на примере механизма моталки стана 2000 и возможности применения нового типа вентильно-индукторного электродвигателя.

Выполнен анализ особенностей двигателей, применяемых в приводе прокатного оборудования, дана характеристика нового типа двигателя вентильно-индукторного электродвигателя, разработана система управления вентильно-индукторным приводом, выполнен расчет характеристик электродвигателя.

### **Литература**

1. *Королев А.А.* Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов.- М: Металлургия, 1985, с. – 376.
2. *Красовский А.Б.* Имитационные модели в теории и практике вентильно-индукторного привода, 2003, с – 61.
3. Технологическая инструкция ЛПЦ-1 ТИ 105.П.ГЛ-02-99 ОАО «Северсталь».
4. *Бычков В.П.* Электропривод и автоматизация металлургического производства, 1966г., с. – 310.
5. *Красовский А. Б.* Основы электропривода, 2015. с. – 405.

**УДК 621.774.37**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ ИНСТРУМЕНТОМ С РЕГУЛЯРНОЙ МИКРОГЕОМЕТРИЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ СМАЗОК**

Сергей Александрович Жаворонков

*Студент 5 курса, специалитет*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Щедрин, О.В. Соколова*

*Доцент кафедры «Технологии обработки материалов», доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Как показывает системный анализ существующих методов волочения труб [1] основным отрицательным физическим явлением данных технологий являются контактные процессы, важнейший из которых трение.

Используя достижения фундаментального импортозамещающего направления «трибология на основе самоорганизации» [2,3], студентами кафедр МТ-10 и МТ-13 МГТУ им. Н.Э.Баумана разработана экспериментальная оснастка для исследования инновационных методов оправочного волочения труб из труднообрабатываемых материалов инструментом с регулярным микрорельефом воздействующих поверхностей в условиях применения современных металлоплакирующих смазок.

Первый вариант схемы оправочного волочения трубных заготовок включает их единое изготовление с полым участком и с резьбовым участком под резьбу М16 для захвата тяговым устройством приспособления. Перед волочением в отверстие полого участка такого имитатора трубной заготовки помещается с зазором оправка, упрочненная регулярным микрорельефом и покрытая металлоплакирующей смазкой. После обжатия полого участка образца – заготовки через фильеру, оправка распрессовывается с помощью вилочного упора, установленного в инструментальную полость обоймы вместо фильер. При этом силоизмерительной системой фиксируется сила распрессовки или извлечения оправки из образца – заготовки.

Второй вариант экспериментальной схемы оправочного волочения трубной заготовки включает применение оправки, рабочая часть которой упрочнена аналогичным регулярным микрорельефом. Трубный образец – заготовка фиксируется гайкой. После

обжатия заготовки через фильеру, гайка свинчивается, а заготовка спрессовывается с оправки, аналогично предыдущему варианту, с помощью кольцевого вилочного упора.

Более высокое качество поверхности имитаторов труб, полученных по обеим схемам оправочного волочения, наиболее близким к промышленным технологиям, когда трубная заготовка вместе со вставленной оправкой обжимается через фильеру, а затем оправка извлекается (распрессовывается), объясняется тем, что каждый выступ регулярного микрорельефа является микроиндентером, оказывающим дополнительное воздействие на поверхностный слой в виде многоциклового деформации [4,5].

Дальнейшее системное совершенствование инновационных методов оправочного волочения труб из труднообрабатываемых материалов предполагает регулярную микрогеометрии поверхности исходных заготовок, волочение в условиях самовозбуждаемого истечения металлоплакирующих смазок по канавкам регулярного микрорельефа инструментальной оснастки, предварительное латунирование поверхностей трубной заготовки, воздействующих поверхностей фильер и оправок (патент РФ №2593062, 2017118781) [6,7].

### Литература

1. *Савин Г.А.* Волочение труб. – М.: «Металлургия», 1982. – 160с.
2. *Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.Г. Габель и др.* Трибология на основе самоорганизации. // Германия: LAMBERT. – 245 с.
3. *Гаврилов С.А., Зинин М.А.* Применение эффекта безызносности при синтезе металлоплакирующих смазок для экстремальных условий трения. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2013. – № 2. – С. 21-25.
4. *Гаврилов С.А.* Совершенствование процесса поверхностного пластического деформирования на основе применения металлоплакирующих смазочных материалов. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2013. – № 4. – С. 33-34.
5. *Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Сергеев Е.С.* Исследование технологических возможностей комбинированного инструмента для охватывающей обработки с параллельным сочетанием резания и деформирования. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 5. – С. 40-44.
6. *Щедрин А.В., Козлов А.Ю.* Совершенствование технологии применения металлоплакирующих смазочных материалов в методах охватывающего поверхностного пластического деформирования инструментом с регулярной микрогеометрией. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – №3. – С. 8-12.
7. *Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачёва Н.Ю. и др.* Технологические возможности метода комбинированного прошивания отверстий с противодавлением металлоплакирующих смазок. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2016. – №9. –С. 30-35.

**УДК 621.771.251**

## **ПОЛУЧЕНИЕ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ПРОКАТКИ**

Виктория Олеговна Зацепина

*Студентка 6 курса,*

*кафедра «Технологии и оборудование прокатки»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: М.О.Миронова*

*ассистент, заместитель заведующего кафедрой «Технологии и оборудование прокатки»*

В работе рассмотрена специфика режимов деформации сортовых профилей из жаропрочных и титановых сплавов. Особенностью процесса нагрева заготовок из сплавов на основе никеля является: сложность нагрева слитков и полуфабрикатов до температур горячей деформации, вследствие чувствительности к тепловым напряжениям; узкий температурный интервал проявления технологической пластичности в процессе формоизменения; высокая чувствительность к неоднородности деформаций, напряжений и неравномерности распределения температуры по сечению заготовки.

Приведены температурные интервалы обработки давлением и свойства сталей и сплавов на основе никеля и титана по данным Всероссийского Научно-Исследовательского института.

Выявлены трудности осуществления горячей деформации жаропрочных сталей и сплавов в узком температурном интервале проявления технологической пластичности.

Проанализирован химический состав никелевых и титановых сплавов.

Обсуждены особые условия трения титановых сплавов, влияние теплопроводности на способ нагрева данных сплавов, наличие полиморфного превращения у сплавов титана и склонность к уширению.

Предложены способы прокатки жаропрочных и титановых сплавов.

### **Литература**

1. *Масленков С.Б.* Жаропрочные стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1983.- 191 с.
2. *Симс Ч., Хагел В.* Жаропрочные сплавы: Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1976.-568 с.
3. *Дзугутов М.Я.* Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Металлургия», 1977. 480 с.
4. *Короткевич Б.М., Антипов В.Ф., Замотан В.М. и др.* Прокатка мелкого сорта из труднодеформируемых сплавов / Известия вузов. Черная металлургия. 1978. №3. С. 107-110.
5. *Тарараев С.И., Калугин В.Ф., Бирман А.М. и др.* Разработка и исследование промышленной технологии горячей прокатки прутков мелких сечений их труднодеформируемых жаропрочных сплавов / Технология легких металлов. 1978. №3. С.31-34.

**УДК 621.771**

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТАН ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ДУО-270**

Лаврентий Михайлович Кавицян

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Мунтин А.В.,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Зачастую металлургические предприятия при разработке новых технологий применяют практику обширных промышленных экспериментов. Это влечёт за собой

большие затраты на разработку. Для снижения количества промышленных экспериментов целесообразно проводить опытную прокатку на лабораторном прокатном стане. В настоящей работе решается задача проектирования лабораторного стана ДУО-270 для Центра исследовательских лабораторий АО «Выксунский металлургический завод» (ЦИЛ АО «ВМЗ»).

Основными идеями разработки и установки лабораторного оборудования прокатного стана ДУО-270 в ЦИЛ АО «ВМЗ» являются:

- наличие собственного лабораторного прокатного оборудования, позволяющего прокатать образцы необходимых размеров с заданными условиями и параметрами прокатки, для дальнейшего изучения механических и физических свойств, а также полученной микроструктуры материала;
- накопление экспериментальной статистической базы параметров прокатанных образцов;
- применение полученных данных в технологических расчетах и доработках технологии прокатки на МКС-5000 и на ЛПК.

При проектировании, главным ограничивающим фактором были габариты участка цеха, на котором планируется размещать стан. В связи с этим, были проведены предварительные расчеты по оценке габаритов основной линии стана, по результатам которых было принято решение взять расчетный диаметр валков 270 мм.

В работе были проведены следующие расчеты:

- расчет энергосиловых параметров прокатки на стане ДУО-270 по заданному режиму (расчет по [1,2,5]);
- расчеты на прочность основных узлов и деталей рабочей клетки (валки, подушки валков, предохранительные стаканы, нажимные винты, гайки нажимных винтов, станина) (методика расчета представлена в [7,8,9,10]);
- расчеты упругих деформаций узлов и деталей клетки, определение жесткости клетки («пружины клетки») (в соответствии с данными, приведенными в [7]);
- подбор электродвигателей привода нажимных винтов и электродвигателей индивидуального привода валков (основные положения по расчетам асинхронных электрических машин переменного тока взяты в [13]).

По результатам расчетов можно сделать вывод о том, что разработанная конструкция клетки прокатного стана удовлетворяет условиям прочности и жесткости, а ее подвижные узлы условиям надежной и долговечной работы, в соответствии с требуемым сроком службы ( $\approx 35000$  ч).

## Литература

1. Коновалов Ю.В., Остапенко А.И., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. «Металлургия», 1986 г.
2. Куренков Ю.М., Мунтин А.В. Обзор технологических решений и оборудования для производства сверхтонкой горячекатаной полосы. «Студенческая весна 2015: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана
3. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке. «Теплотехник», 2008 г.
4. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г.
5. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С. Теория прокатки. Справочник. «Металлургия», 1982 г.

6. *Королев А.А.* Прокатные станы и оборудование прокатных цехов Атлас. М.: Металлургия, 1981.
7. *Королев А.А.* Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия, 1985.
8. *Шилов В.А., Инатович Ю.В.* Расчеты рабочих клетей прокатных станов. Екатеринбург: УГТУ, 2000.
9. *Колесников А.Г., Яковлев Р.А.* Механизмы и устройства рабочих клетей прокатных станов. Учеб. Пособие по курсу «Расчет и конструирование прокатных станов». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 63с.
10. *Колесников А.Г., Яковлев Р.А.* Подшипниковые опоры прокатных валков. Учеб. Пособие по курсу «Расчет и конструирование прокатных станов». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 68с.
11. *Яковлев Р.А.* Расчет надежности соединений и передач прокатных станов. Учеб. Пособие под ред. Колесникова А.Г. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 60с.
12. *Антипин В.Г., Тимофеев С.В., Нестеров Д.К., Грицук Н.Ф., Степанов В.В, Григорьев В.И., Орлов Е.Л., Пацка И.Е., Меляков В.И., Ланько В.В.* Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т.3 Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Металлургия. 1992. 433с.
13. *Красовский А.Б.*, Основы электропривода: учебное пособие. – М: издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 405, [3] с.: ил.
14. Детали машин: учебник для вузов / [Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, М. Н. Захаров и др.]; под ред. О. А. Ряховского. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 465, [7] с.: ил. ISBN 978-5-7038-3939-3.

**УДК 621.771**

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ЧИСТОВОЙ КЛЕТИ КВАРТО 2800 ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ»**

Игорь Игоревич Кашенков

*Студент 6 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: С.Б. Арюлин,  
старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

### **Актуальность работы**

Тематика представленной работы обусловлена интересом к прокатному оборудованию полунепрерывного комбинированного толстолистового и широкополосного стана 2800/1700 ЧерМК ПАО «Северсталь» и возможности его исследования в процессе прохождения производственных практик.

Учитывая, что стан 2800/1700 является масштабным прокатным технологическим комплексом, целью исследования стал выбор наиболее интересных с точки зрения конструкции и значимости для всего технологического комплекса прокатных агрегатов. Объектом исследования стала чистовая реверсивная клеть кварто 2800 полунепрерывного комбинированного стана 2800/1700 горячей прокатки.

Стан введен в эксплуатацию в 1958 году и непрерывно подвергался модернизации, так на чистовой клети кварто 2800: произведен демонтаж вертикальных валков клети, доработана система охлаждения, произведен переход на опорные валки большего диаметра и модернизирован нажимной механизм, заменен электродвигатель на более мощный. Все это говорит о том, что чистовая клеть занимает важное место в технологическом процессе стана 2800/1700, так как черновая клеть дуо была полностью заменена на клеть кварто.

Работа направлена на повышение надежности работы электрооборудования чистовой клети и снижение времени простоев стана 2800/1700 в связи с этим.

### **Результаты исследования и разработка конструкции**

В ходе изучения клети было выявлено, что все основные узлы и механизмы, кроме главного привода клети имеют необходимый запас по прочности и техническим параметрам как для действующей технологии прокатки на стане, так и для случаев их ужесточения и прокатки более прочных марок стали;

В настоящее время электропривод чистовой клети стана 2800 выполнен по системе Г-Д (генератор-двигатель). Питание электродвигателя осуществляется от преобразовательного агрегата, состоящего из двух генераторов и синхронного электродвигателя.

Основные технические характеристики существующего электродвигателя постоянного тока Д4

- частота вращения 63/120 об/мин;
- мощность 7100 кВт;

Исследования показали, что действующий электропривод клети имеет ряд недостатков, негативно влияющих на технико-экономические характеристики стана в целом, и не редко возникают аварийные остановки стана по причине неисправности электродвигателя клети.

В ходе производственных практик и в результате исследований проводимых в курсовых работах были выявлены следующие недостатки, связанные с главным приводом клети, в частности с электроприводом:

- С самого начала эксплуатации на двигателе неоднократно наблюдалось ухудшение коммутации до недопустимых пределов (искрение до 3-х баллов). В частности, с ноября 1985 г. по февраль 1986 г. произошло 17 аварийных остановов стана по причине резкого ухудшения коммутации двигателя.
- После аварийных остановов, явившихся следствием резкого ухудшения коммутации, выявлялись повреждения обмотки якоря, в частности, паянных соединений секций и уравнивательных соединений к коллектору.
- Фактический срок службы двигателя по состоянию на 2017 год составил 32 года, что превышает назначенный срок службы, указанный в технических условиях на электродвигатель на 12 лет.
- Коэффициент готовности с первых месяцев эксплуатации данного двигателя (17 аварийных остановов стана за первый год работы), как при работе с резервным

якорем, так и с основным, не соответствовал указанному в ТУ параметру – 0,995 (допустимое время аварийного ремонта – менее 2-х дней на год работы).

- Частота отказов двигателя, в первую очередь – по причине якоря, за последние годы увеличивается. Несмотря на использование резервного якоря, гарантировать бесперебойную работу стана при аварийных остановах двигателя не удаётся.
- По причине участвовавших внезапных аварийных отказов двигателя возникла необходимость постоянного контроля за коммутацией на коллекторе, периодического контроля теплового состояния агрегата тепловизионной техникой, для чего был демонтирован соответствующих кожух двигателя. Это является значительным отклонением от нормальной конструкции двигателя, нарушает замкнутый цикл охлаждения его активных частей, приводит к нерасчётным нагревам, способствует загрязнению якоря и магнитной системы двигателя и может являться причиной его отказов.
- Двигатель работает на пределе своих номинальных параметров, в наиболее тяжёлом для себя режиме работы - с частыми реверсами, торможениями, изменениями скорости вращения.
- Шестеренные валки шестеренной клетки работают на пределе своих номинальных параметров контактной и изгибной прочности зубьев, а дефекты изготовления шестеренных валков приводят к их досрочной замене.

Обобщая изложенное выше, рассматривается вопрос о замене на двигатель другой конструкции с повышением мощности.

Основной целью данной работы является исследование возможности и путей модернизации главного привода чистовой клетки кварто 2800.

На основе полученной за время прохождения производственной практике информации можно выделить 3 основные задачи, которые необходимо решить при проведении модернизации привода:

1. Подобрать электродвигатель с необходимыми характеристиками: по мощности.
2. Масса отдельно перевозимых узлов и агрегатов не должна превышать грузоподъемность крана, установленного в машзале (75т).
3. Изменения в фундаменте под установку нового электродвигателя должны быть минимальны.

В соответствии с этим, мною было выбрано 2 принципиальных варианта проведения модернизации:

1. Сохранение существующей схемы главного привода с групповым приводом валков с заменой только электропривода (рисунок 1).
2. Переход схему с индивидуальным приводом валком (рисунок 2).

В качестве главного привода клетки был выбран синхронный тип электродвигателя, так как они являются более надежными, компактными, требуют меньше



эксплуатационных расходов, для их работы не нужны генераторы постоянного тока, которые используются сейчас.

Для варианта модернизации №1 был выбран электродвигатель High voltage motor SIMOTICS HV M1RA7712-6FA170-0C7J0 @Siemens AG со следующими техническими характеристиками:

- Мощность:  $P=8700$  кВт
- Частота вращения:  $n=0/140$  об/мин

Для варианта модернизации №2 были выбраны 2 электродвигателя High voltage motor SIMOTICS HV M1RA7712-1RA7 636-6HE7 7 @Siemens AG со следующими техническими характеристиками:

- Мощность:  $P=4800$  кВт;
- Частота вращения:  $n=0/140$  об/мин;

Оба варианта были проверены по перегрузочной способности и по нагреву.

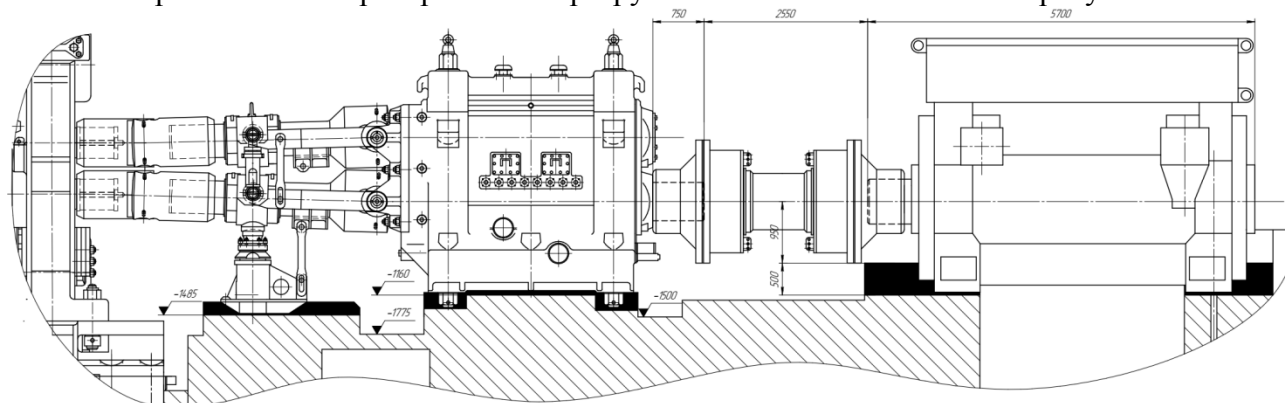


Рис. 1. Эскиз линии главного привода клетки по варианту модернизации №1

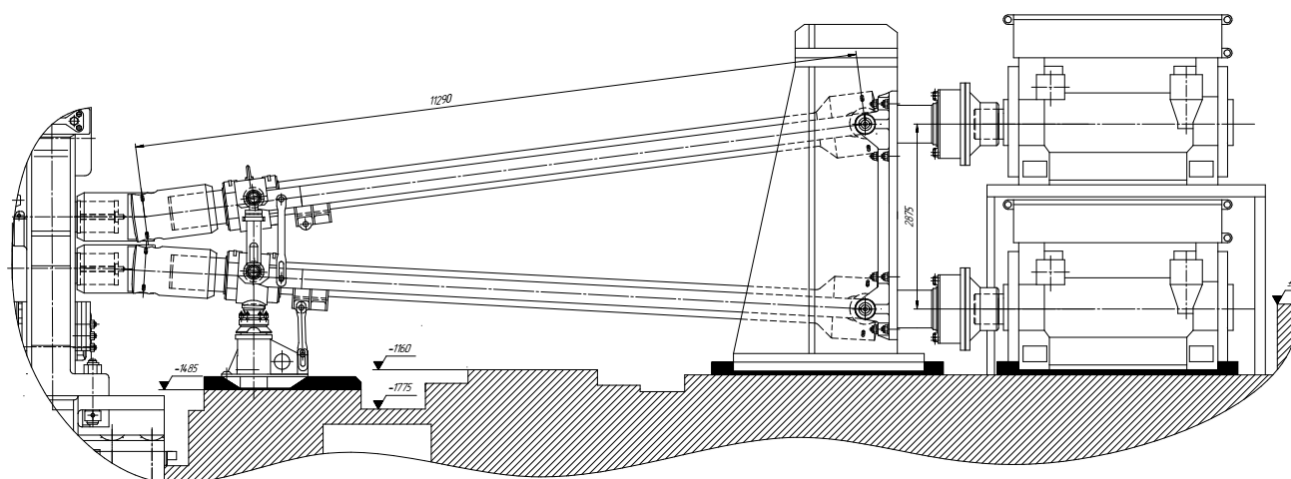


Рис. 2. Эскиз линии главного привода клетки по варианту модернизации №2

## Заключение

В данной работе было рассмотрено 2 варианта компоновки привода: с индивидуальным и групповым приводом и выполнено эскизное проектирование с целью понимания возможности такой модернизации.

Первый вариант позволит решить имеющиеся проблемы с минимальными переделками в конструкции привода, сохранив основное оборудование привода клетки. Второй вариант, не смотря на большую стоимость и полную замену привода, является более технологичным решением, соответствующим современным принципам тяжелого станкостроения, и помимо решения основных проблем позволит внедрить новые технологические режимы прокатки без риска аварий, связанных со старыми агрегатами привода.

Дальнейшее развитие данная работа получит в виде дипломного проектирования и состоит в детальной проработке обоих вариантов модернизации, динамическом расчете и конструирование новых узлов для создания привода, отвечающего современным нормам металлургического производства.

## Литература

1. *Королев А.А.* Прокатные станы и оборудование прокатных цехов Атлас. М.: Металлургия, 1981.
2. *Королев А.А.* Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия, 1985.
3. *Шилов В.А., Инатович Ю.В.* Расчеты рабочих клеток прокатных станов. Екатеринбург: УГТУ, 2000.
4. *Колесников А.Г., Яковлев Р.А.* Механизмы и устройства рабочих клеток прокатных станов. Учеб. Пособие по курсу «Расчет и конструирование прокатных станов». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 63с.
5. *Колесников А.Г., Яковлев Р.А.* Подшипниковые опоры прокатных валков. Учеб. Пособие по курсу «Расчет и конструирование прокатных станов». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 68с.
6. *Яковлев Р.А.* Расчет надежности соединений и передач прокатных станов. Учеб. Пособие под ред. Колесникова А.Г. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 60с.
7. Технологическая инструкция. Производство толстых листов на СТАНЕ 2800 ЛПЦ-1 ППП. Череповец, ПАО «Северсталь», 2015.
8. Технологическая инструкция. Горячая прокатка полос на стане 2800/1700 ЛПЦ-1 ППП. Череповец, ПАО «Северсталь», 2015.
9. *Антипин В.Г., Тимофеев С.В., Нестеров Д.К., Грищук Н.Ф., Степанов В.В., Григорьев В.И., Орлов Е.Л., Пацека И.Е., Меляков В.И., Ланько В.В.* Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т.3 Листопрокатные станы и профилирующие агрегаты. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Металлургия. 1992. 433с.
10. *Никитин Г.С.* Теория непрерывной продольной прокатки. Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 399 с.
11. *Бахтинов В.Б.* Технология прокатного производства. М.: Металлургия, 1983. 489 с.
12. *Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Никитин Г.С.* Теория прокатки. Справочник. М.: Металлургия. 1982. 73 с.
13. *Целиков А.И., Смирнов В.В.* Прокатные станы. М.: Металлургия, 1958. 432 с.
14. *Демидов Б.Б., Литовченко Н.В.* Технология прокатного производства. М.: Металлургия, 1979. 488 с.

15. Siemens AG Three-Phase Induction Motors SIMOTICS HV, SIMOTICS TN Catalog D  
84.1 – July 2017

УДК 621.771

**ПРОКАТКА ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ПО ДЛИНЕ**

Станислав Владимирович Ковтунов

*Студент 5 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Мунтин,  
кандидат технических наук, главный специалист по поисковым работам и новым технологиям  
ОАО "ВМЗ", доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

**Продольно-профилированные листы. Обзор сортамента и основные проблемы получения.**

Очень часто напряжение, действующее на конструкцию распределено в продольном направлении неравномерно. Этот факт послужил идеей для создания продольно-профилированных листов (Longitudinally profiled plates). В таких листах толщина различна в продольном направлении, и может иметь различный профиль в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции. Основные преимущества продольно-профилированных листов:

- 1) Уменьшение массы конструкции и экономия металла.
- 2) Сокращение длины различных соединений во всей конструкции.
- 3) Сокращение времени постройки конструкции.

Основными производителями разнотолщинных листов в мире являются компании Dillinger, Германия и Fukada, Япония. Продольно-профилированные пластины могли бы использоваться в судостроении и мостостроении, ветровой энергетике, чтобы обеспечить прочность конструкции не соединяя плиты различной толщины, это обеспечивает экономию стали и уменьшение количества сварных швов. Сварка и другие работы по соединению пластин приводят к увеличению затрат на строительство конструкций.

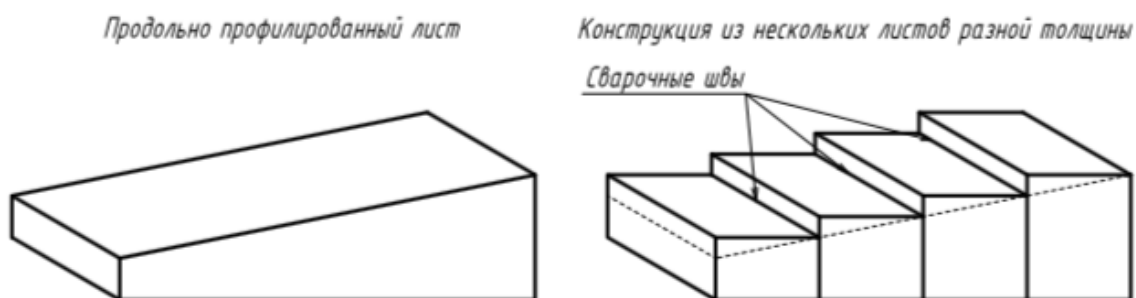


Рис. 1. Сокращение длины сварных швов и уменьшения веса конструкции благодаря использованию разнотолщинных листов.

Применение продольно-профилированных пластин в стальных конструкциях очень привлекательно. Тем не менее, многие проблемы, связанные с технологией производства и производительностью должны быть преодолены для промышленного массового производства продольно-профилированных пластин:

- 1) Это специальные технологии, включающие в себя описание проходов при прокатке, контроля профиля, позволяющего изменить толщину в продольном направлении во время горячей прокатки.
- 2) Технологии ускоренного охлаждения, обеспечивающие точность и плоскостность поверхности. В результате чего разница в продолжительности охлаждения непрерывна в продольном направлении при помощи контроля скорости перемещения пластины, замедления/ускорения вращения валков для достижения однородных свойств.
- 3) Специальная технология резки, которая автоматически определяет оптимальное положение резания продукта на основании непрерывного измерения толщины по длине листа.

На рис. 2 изображены основные типы исполнения разнотолщинных листов. Лист может иметь одну из представленных форм в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции.



Рис. 2. Основные формы листов с переменной толщиной по длине.

#### Лабораторная прокатка клиновидной полосы на стане «Дуо – 260»

Основная цель прокатки клиновидной прокатки образца в лаборатории кафедры МТ10 МГТУ им. Н.Э. Баумана заключалась в изучении технологии прокатки разнотолщинных листов (Longitudinally profiled plates).

Поставленные задачи:

- 1) Сравнение теоретических ЭСП и реальных ЭСП прокатки;
- 2) Сравнение рассчитанных геометрических параметров клиновидной полосы с реальными размерами образца, полученными при прокатке;
- 3) Изучение работы гидронажимных устройств стана «Дуо – 260»;
- 4) Сбор информации о технологии прокатки продольно–профилированных листов.

Для прокатки была выбрана максимальная скорость сведения валков, с целью более качественной оценки влияния разнотолщинной прокатки на энергосиловые параметры. В результате лабораторной прокатки был получен клиновидный образец с длиной клина 220 мм и общей длиной 550 мм изображенный на рис. 3.



Рис. 3. Прокатанный образец.

Для удобства обработки результатов образец был поделен на 10 равных участков. В дальнейшем были измерены толщина и ширина каждого участка. Данные геометрические параметры были использованы для расчета энергосиловых параметров при прокатке.

Графики распределения момента прокатки и силы прокатки, полученные при прокатке клиновидного образца представлены на рисунке 4.

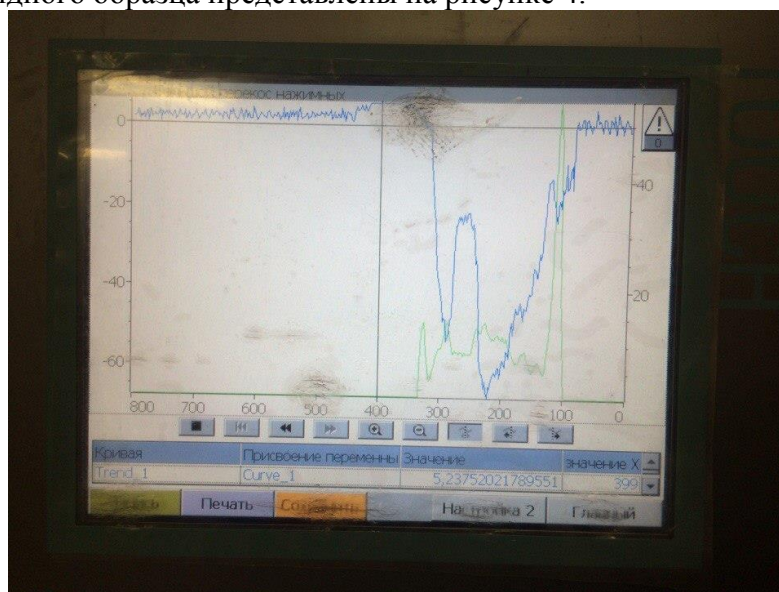


Рис. 4. Графики момента и силы прокатки на экране стойки управления станом «Дуо – 260»

### Выводы

На основе наблюдений и сравнения теоретических расчетов энергосиловых параметров с реальными показателями, был сделан ряд выводов:

1) На стане «Дуо – 260» возможна прокатка продольно профилированных образцов и дальнейшее изучение этой технологии;

2) Распределения силы прокатки теоретическое и практическое имеют схожий характер только на протяжении участков 1-5, так как на участках 6-10 образец буксовал в валках и прокатка шла рывками;

3) Вытяжка определяется в расчете некорректно, необходимо искать другой метод расчета;

4) Необходимо проведение эксперимента включающего многопроходную прокатку, для более детального изучения технологии прокатки разнотолщинных образцов.

### **Литература**

1. *Togo Fukada, Yukio Takashima, Toshifumi Hori, Yoshinori Yuge.* Development of manufacturing technologies of high performance longitudinally profiled steel plates. JFE Steel Corporation, Kurashiki, Japan.
2. *Yuhshi Fukumoto, Tatsumasa Takaku, Tetsuhiko Aoki, K.A.C. Susantha.* Innovative Use of Profiled Steel Plates for Seismic Structural Performance. Fukuyama University, Fukuyama, Japan.
3. Longitudinally profiled plates, DILLINGER HUTTE GTS, Stuttgart, Germany.
4. *Никитин Г.С.* Теория непрерывной продольной прокатки. Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 399 с.

**УДК 621.771**

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИВОДА СКОБЫ РЕДУКЦИОННОГО СТАНА**

Сайбына Яковлевна Колесова

*Студент 6 курса,*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т. Ю. Комкова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Знание действительного характера нагружения прокатного оборудования позволит изготовить надежные конструкции с меньшими затратами средств и достичь наибольшей производительности. Важно знать не только технологические нагрузки, но и динамические, возникающие в приводах машин при различных режимах работы.

Перегрузки и динамические снижения скорости привода являются предметом главного внимания при проектировании редукционных станков, т.к. периодически повторяющиеся пики динамической нагрузки являются причиной преждевременного выхода из строя деталей и узлов и простоев оборудования редукционного стана.

Для анализа динамики машин важным этапом является составление физической и математической модели, так как от точности определения параметров реальной машины и математического описания физических процессов зависит точность динамических расчетов.

Составление математической модели привода скобы редукционного стана состоит из следующих этапов: анализ конструкции, описание кинематической схемы, построение дискретной физической модели, математическое моделирование.

Дана кинематическая схема (рис.1) привода клетки редукционного стана [3].

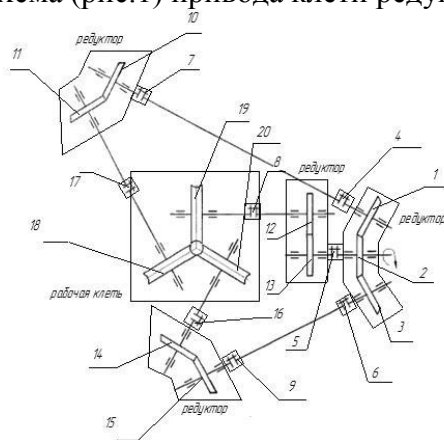


Рис.1. Кинематическая схема привода клетки редукционного стана  
1, 2, 3, 10, 11, 14, 15 – зубчатые конические колеса; 12, 13 – зубчатые цилиндрические колеса; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 17 – муфты; 18, 19, 20 – рабочие валки.

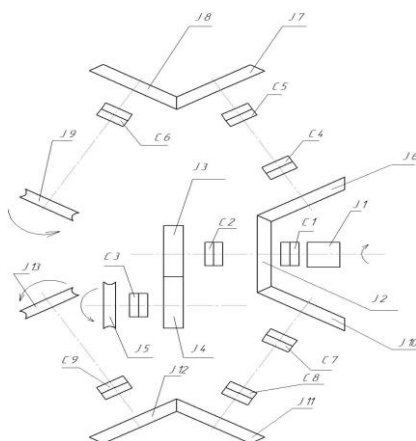


Рис. 2. Дискретная физическая модель клетки редукционного стана  
J1 – момент инерции привода; J2, J6, J7, J8, J10, J11, J12 – моменты инерции конических зубчатых передач; J3, J4 – моменты инерции цилиндрических зубчатых передач; J5, J9, J13 – моменты инерции валков; C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 – крутильные жесткости муфты

Для построения крутильно-колебательной модели привода скобы редукционного стана физическую модель электропривода преобразуем в математическую (динамическую) 8-массовую крутильно-колебательную модель с разветвленной структурой (рис.3).

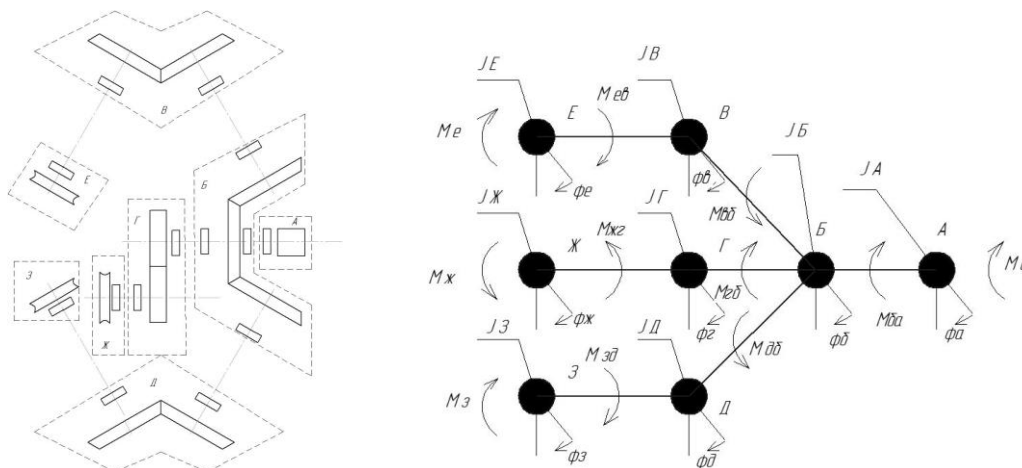


Рис. 3. Структура крутильно-колебательной модели привода клетки редукционного стана

А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З – сосредоточенные массы;  $J_A, J_B, J_B, J_G, J_D, J_E, J_J, J_Z$  – моменты инерции;  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_B, \varphi_G, \varphi_D, \varphi_E, \varphi_J, \varphi_Z$  – угловые координаты;  $M_A, M_E, M_J, M_Z$  – внешние моменты;  $M_{BA}, M_{BB}, M_{GB}, M_{DB}, M_{EB}, M_{JG}, M_{ZD}$  – внутренние моменты упругих связей EB, ЖГ, ЗД, ВБ, ГБ, ДБ, БА

Данная модель будет использоваться в дальнейшем составлении системы дифференциальных уравнений движения привода скоба, что является основным этапом динамического исследования.

### Литература

1. Данилов Ф.А., Глейберг А.З., Балакин В.Г. Горячая прокатка и прессование труб.- М.: Металлургия, 1972. - 576 с.
2. Гуляев Г.И., Ившин П.Н., Ерохин И.Н. Технология непрерывной безоправочной прокатки труб. - М.: Металлургия, 1975. - 264 с.
3. Колесников А.Г., Яковлев Р.А., Мальцев А.А. Технологическое оборудование прокатного производства. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.-158с.

УДК 539.231

### ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОНКИХ ПЛЕНОК WSi, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Татьяна Григорьевна Константинова <sup>(1)</sup>, Елизавета Ильинична Малеванная <sup>(2)</sup>, Денис Дмитриевич Васильев <sup>(3)</sup>

Студент 3 курса <sup>(1)</sup>, магистр 2 года <sup>(2)</sup>, аспирант 3 года <sup>(3)</sup>  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный

кандидат технических наук,  
руководитель:

руководитель:

К.М.Моисеев,

кафедры «Электронные технологии в машиностроении»



Исследование направлено на решение проблемы выбора наиболее подходящих сверхпроводящих материалов для создания чувствительных детекторов электромагнитного излучения инфракрасного (ИК)диапазона. В особенности, рассматривается актуальность использования плёнок WSi в сверхпроводниковых фотонных детекторах (SSPD или SNSPD), их преимущества и потенциальные возможности.

При выборе материала для сверхпроводящего элемента немаловажным фактором является технологичность получения гомогенной структуры. В отличие от NbN и NbTiN, WSi обладает аморфной структурой и низким значением запрещённой зоны, что позволяет создавать детекторы с высоким уровнем эффективности обнаружения (DE). Потенциальное значение DE в плёнках WSi может достигать 100% [1]. Аморфность плёнок WSi позволяет наносить их на любой материал подложки и получать детекторы большой площади [2].

В отличие от плёнок WSi, плёнки NbN показывают высокую эффективность только при токе смещения, близком к критическому. Данный фактор может иметь негативные последствия при объединении детекторов в общий массив, когда перекрещения полей могут вызвать ложные срабатывания [3].

В работе [3] 64-х пиксельный массив SNSPD на основе WSi показал эффективность обнаружения системы свободного пространства 50% при 1550 нм. При этом данный массив позволяет считывать информацию с частотой 1,2 ГГц.

Значительным успехом является получение эффективности обнаружения более 90% в однофотонных детекторах, основанных на аморфных плёнках WSi. В работе [2] приведена зависимость DE от тока смещения  $I_b$ , длины волны  $\lambda$  и критической температуры ( $T_c$ ).

Тем не менее, в настоящее время реальные устройства не могут одновременно совмещать высокие показатели производительности записи. Основная причина этого — отсутствие полного понимания механизма обнаружения фотонов.

Механизм обнаружения в SSPD связан с образованием резистивного состояния в токопроводящей сверхпроводящей структуре и может быть изучен в режиме двухфотонного детектирования.

В работе [4] Приводится сравнительная характеристика WSi и NbN по следующим показателям: эффективность энергетического осаждения  $\delta$ , описывающая уровень возбуждения в горячей точке и зависящая от энергии поглощаемых фотонов; параметр затухания  $\gamma$  (отношение времени попадания фотона на поверхность к времени рассеяния фононного электрона) и характерное время электрон-фононной релаксации  $\tau_0$ , зависящее от материала. Также были доказаны экспериментально следующие зависимости: влияние тока смещения на режим работы детектора (одно- или двухфотонный режим), диапазоны смены режимов для плёнок WSi, влияние тока смещения  $I_b$ , температур перехода  $T_c$  и длины падающего излучения на изменение времени релаксации.

Исследование [5] показало, что электрон-фононная релаксация в плёнках WSi оказалась медленней по сравнению с плёнками NbN и NbTiN.

Определение энергии, при которой происходит релаксация, связано с электрон-фононным взаимодействием, при котором происходит затухание (эффект «бутылочного горлышка»), и зависит от точной оценки данного затухания (параметра затухания) [6].

Важным является выявление зависимости тока смещения и критической температуры на выходной параметры плёнки, а именно на энергию разрыва электронных пар [5].

Таким образом, влияние тока смещения и критической температуры тонкой плёнки на выходные параметры готового изделия было выявлено в ряде вышеупомянутых работ.

Задачей дальнейшего исследования является определение связи между параметрами процесса формирования плёнки и параметрами самой плёнки для увеличения эффективности, работоспособности и скорости регистрирования фотонов готового сверхчувствительного элемента детектора. Тем самым целью последующих работ является формирование детекторов под конкретную задачу с необходимыми исходными характеристиками.

### Литература

1. V.A. Seleznev, A.V. Divochiy, Yu.B. Vakhtomin, P.V. Morozov, P.I. Zolotov, D.D. Vasil'ev, K.M. Moiseev, E.I. Malevannaya and K.V. Smirnov Superconducting detector of IR single-photons based on thin WSi films. Jun 2016 · Journal of Physics Conference Series.
2. Marsili, F., et al., Detecting single infrared photons with 93% system efficiency. Nat Photon, 2013. 7: p. 210.
3. M.D. Shaw, et al., A near-infrared 64-pixel superconducting nanowire single photon detector array with integrated multiplexed readout. Applied Physics Letters 106, 192601 (2015); 10.1063/1.4921318.
4. F. Marsili, et al., Hotspot relaxation dynamics in a current-carrying superconductor. Phys. Rev. B 93, 094518 (2016).
5. A.G. Kozorezov, et al., Quasiparticle recombination in hotspots in superconducting current-carrying nanowires, Phys. Rev. B 92, 064504 (2015).
6. Sidorova M., Semenov A., Korneev A., Chulkova G. M., Korneeva Y., Mikhailov M., Devizenko A., Kozorezov A., Goltsman G. Electron-phonon relaxation time in ultrathin tungsten silicon film / Cornell University. Series cond-mat "arxiv.org". 2016. No. 1607.07321.

### УДК 621.774.2

## ОСВОЕНИЕ НОВОГО ТИПОРАЗМЕРА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ – РАЗРАБОТКА КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ФОРМОВКИ ОБСАДНЫХ ТРУБ

Владислав Юрьевич Корнеев

*Студент 6 курса*

*Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Лепестов,*

*аспирант кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В настоящее время производство стальных труб в мире непрерывно возрастает. Электросварные прямошовные трубы по многим качественным показателям не уступают бесшовным. Обсадные трубы – важная составляющая при строительстве нефтяных и газовых скважин, обустройстве месторождений. Трубы опускаются в скважину, удерживая породу от осыпания. Они ввинчиваются друг в друга или скрепляются с помощью муфт, образуя колонну на всем протяжении скважины.

В связи с освоением новых месторождений нефти и газа (в т.ч. в условиях «вечной мерзлоты») требуется внедрение новых типоразмеров и материалов обсадной трубы. Объектом исследования является формовочный стан ТЭСА 114-245 АО «ВМЗ» на котором производится обсадная труба диаметром 178 мм и с толщиной стенки 8 мм. Формовка трубной заготовки на непрерывных трубоформовочных станах осуществляется путем последовательного изгиба стальной ленты (штрипса) при продвижении ее по линии

стана. Задача: выявить существующие проблемы перехода на новые типоразмеры обсадной трубы и предложить рабочий вариант калибровки.

При сопоставлении классической методики Матвеева гиба полосы с существующей конструкцией стана оказалось, что существующую методику использовать невозможно. В результате работы была предложена комбинированная методика гиба полосы сочетающая классическую двухрадиусную схему и моделирование процесса в пакете программ COPRA RF. В увязке с данным исследованием была разработана калибровка и сделан вывод о целесообразности ее применения.

### **Литература**

1. *Официальный сайт: «Roll-Kraft»* <http://www.roll-kraft.com/>
2. *Матвеев Ю.М., Ружинский М.Б., Ромашов А.А., Халамез Е.М.* Технология производства электросварных труб, - М Металлургия, 1967. – 400 с.

### **УДК 621.771**

## **ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДЕЛКИ РЕЛЬС НА СТАНЕ 300 «ТУЛЬСКОГО МЕТАЛЛОПРОКАТНОГО ЗАВОДА»**

Татьяна Борисовна Кошманова

*Студентка 6 курса*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.Б. Арюлин,*

*старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Данная работа посвящена технологии и модернизации стана 300 "Тульского металлпрокатного завода". В основу производства заложена уникальная ресурсосберегающая технология — переработка старых изношенных рельсов путём их перекачки на мелкосортном стане в новый продукт. Ежегодно на российских железных дорогах снимается до полумиллиона тонн изношенных рельсов, марка стали получаемого проката – Сталь 76 (рельсовая сталь), таким образом, высокоуглеродистая низколегированная сталь обретает вторую жизнь.

Исходной заготовкой для стана «300» является рельс железнодорожный Р65, длиной 4500 – 5700 мм. Сортамент стана составляет горячекатаный арматурный прокат диаметром №10-22, горячекатаный круглый прокат диаметром 18-32 мм, горячекатаный винтовой профиль диаметром 15-32 мм.

Прокатка на стане ведется в трех группах клетей: клеть ТРИО (три - пять проходов), промежуточная непрерывная группа клетей ДУО, состоящая из четырех горизонтальных клетей открытого типа, и чистовой группы клетей ДУО, состоящей из шести последовательно расположенных горизонтальных клетей открытого типа.

В настоящий момент завод планирует расширить сортамент выпускаемой продукции, используя квадратные заготовки со стороной 150 мм длиной 6 м из конструкционных углеродистых и конструкционных низколегированных сталей. В связи с этим, был проведен анализ, который показал, что совмещение двух технологий (прокатка квадрата и разделка рельса) на существующем стане не возможно из-за низкопроизводительной клетки ТРИО. Поэтому имеется предложение по демонтажу клетки ТРИО 530 и установки вместо нее черновой группы клетей ДУО. Принято решение использовать клетки бесстанинного типа. Исходя из информации о габаритах черновых

клетей и их привода, была произведена перепланировка стана с заменой клетки ТРИО 530 и подъемно-качающегося стола на черновую группу, состоящей из 6 клеток (четыре горизонтальных и двух вертикальных).

Предполагается, что проведенная таким образом модернизация стана 300 "Тульского металлопрокатного завода" даст возможность увеличить производительность агрегата и существенно расширить сортамент выпускаемой на нем продукции.

### **1. Литература**

2. *Бахтинов В.Б.* Технология прокатного производства. М.: Металлургия, 1983. 489 с.
3. *Демидов Б.Б., Литовченко Н.В.* Технология прокатного производства. М.: Металлургия, 1979. 488 с.
4. *Поляков В.В., Великанов А.В.* Основы технологии производства железнодорожных рельсов. М. Металлургия, 1990.
5. *Росс Е. Бейнон.* Калибровка валков и расположение прокатных станов. М. Металлургиздат, 1960.

**УДК 621.771.237**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИКРОМОЧНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ПРОКАТКЕ НА ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Дмитрий Игоревич Крендясев, Юрий Сергеевич Мыльников

*Студенты 5 курса,*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В.Иванов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В 2017 году мы проходили технологическую практику на металлургическом предприятии ООО ВМЗ. Нам удалось познакомиться с литейно-прокатным комплексом, на котором производят сложные трубные марки стали, в том числе высокопрочные и коррозионностойкие. Несмотря на высокую производительность комплекса до 1,2 млн. тонн в год, ежегодно ведутся исследовательские работы по улучшению технологии производства. Это указывает на ряд недостатков и один из них связан с дефектами, возникающими в прикромочной зоне.

Нам было поручено разобраться в этой проблеме и исследовать причины возникновения прикромочных трещин при прокатке полос на ЛПК.

Литейно-прокатный комплекс представляет собой комплекс, в составе которого имеется машина непрерывного литья заготовок и прокатный стан. Таким образом, задача разбивается на две части: исследование причин зарождения дефектов на стадии разлива и в процессе прокатки.

Аналитически решить данную задачу не представляется возможным, поэтому за основу были взяты численные методы. В качестве среды моделирования был использован Ansys10 Mechanical. Моделирование процессов, протекающих в кристаллизаторе – весьма сложная задача и требует определенной подготовки, поэтому, сперва было проведено исследование осадки и прокатки.

На данный момент, литье в изложницы практически не используется, его вытеснила технология непрерывного литья заготовок. В этой технологии существуют недостатки, связанные с возникновением дефектов, среди которых можно особо выделить

раскатанные (прикромочные) трещины (рис.4). Они представляют собой ориентированную в направлении прокатки несплошность, расположенную на расстоянии от 5 до 50 мм от кромки проката, сопровождающуюся мелкими языкообразными отслоениями.

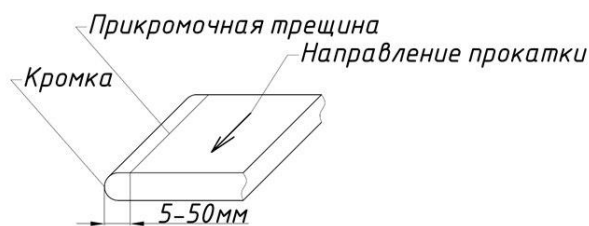


Рис. 1. Внешний вид прикромочной трещины

Для выяснения причин возникновения данного дефекта необходимо выбрать критерий разрушения заготовки. Одним из первых и наиболее удобно формализуемых является критерий В.Л. Колмогорова. В его основе лежит понятие поврежденности  $\psi$ , которая является относительной величиной ( $\psi=0$  соответствует неповрежденной заготовке, а  $\psi=1$  – заготовке в момент разрушения) и характеризует пораженность заготовки микродефектами. Эта величина зависит от таких параметров как показатель напряженного состояния, коэффициент Лоде-Надаи, пластичность и т.д.

Так как средой моделирования был выбран ANSYS 10, данный критерий был формализован в процедуру на внутреннем языке программы APDL. Также был написан макрос для удобного моделирования процесса прокатки. В нем легко задаются основные параметры для расчета модели.

Нами были рассмотрены задачи холодной прокатки толстой и средней полос из стали 20 в постановке плоской деформации и последующего анализа их поврежденности. Стан – ДУО 160. Написанная нами процедура позволяет рассматривать исчерпание ресурса пластичности для каждого момента времени в процессе прокатки.

Ниже представлена конечно-элементная модель средней полосы (рис. 2). Средними считаются полосы, у которых отношение длины дуги захвата к средней высоте находится в пределах от 0.5 до 2. В нашем случае это отношение равно 1.14.

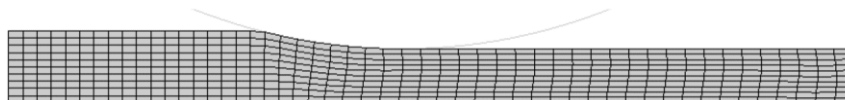


Рис. 2. Конечно-элементная модель средней полосы

После применения процедуры, была получена следующая картина распределения поврежденности (рис. 3), где красный цвет соответствует  $\psi=14\%$ , а оранжевый –  $11\%$ . Также были выбраны характерные элементы для более детального анализа.

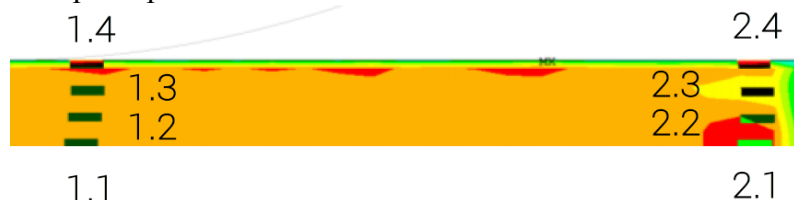


Рис. 3. Распределение поврежденности в прокатанной заготовке и выбор элементов для анализа

В ходе анализа, было получено, что в средней части заготовки поврежденность накапливается с разной скоростью, но в итоге приходит к одной величине, а на переднем конце имеет не только разную скорость накопления, но и различные итоговые значения. Для большей показательности результатов была получена диаграмма сравнения поврежденности на переднем конце и в средней части (рис. 4). Из нее видно, что наиболее

повреждены передний конец и приконтактные слои, что объясняется наличием в них растягивающих напряжений.

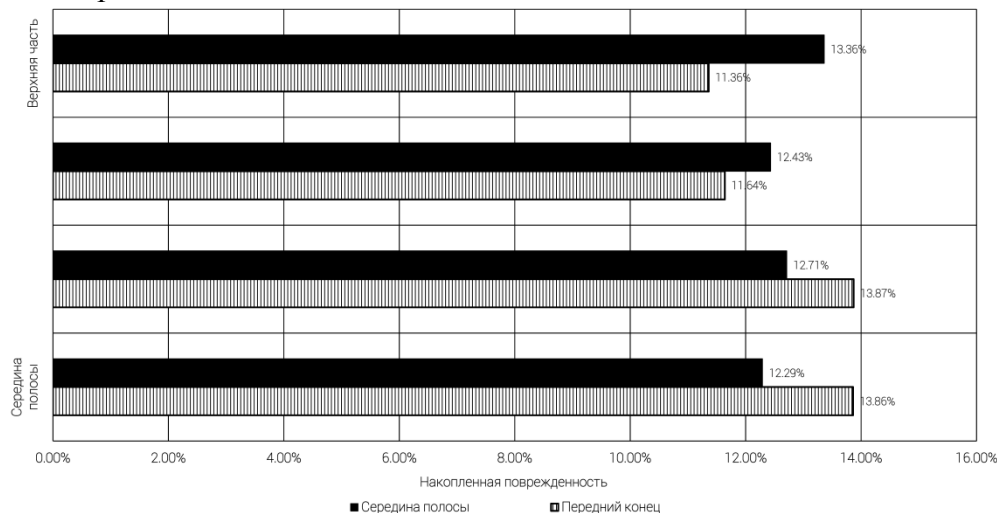


Рис. 4. Сравнение поврежденностей на переднем конце и в средней части заготовки

При рассмотрении прокатки высокой полосы (отношение длины дуги захвата к средней высоте менее 0.5), также была получена конечно-элементная модель (рис. 5), рассчитана картина распределения  $\psi$  и выбраны элементы для более детального анализа (рис. 6).

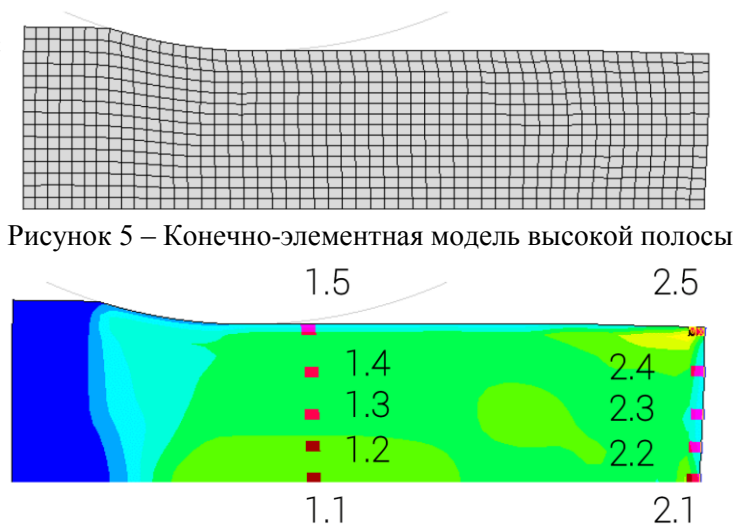


Рисунок 5 – Конечно-элементная модель высокой полосы

Рис. 4. Распределение поврежденности в прокатанной заготовке и выбор элементов для анализа

В данном случае картина несколько изменилась: приконтактные слои повреждены меньше, и максимум  $\psi$  сместился ближе к верхней части переднего конца заготовки. Это нагляднее просматривается на аналогичной диаграмме сравнения (рис. 7).

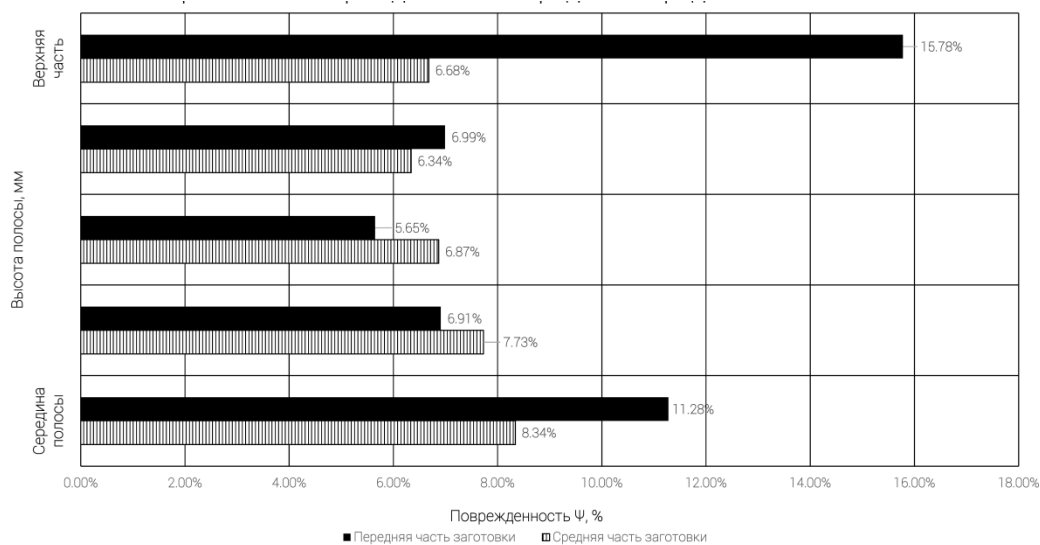


Рис. 7. Сравнение поврежденности в центральной части заготовки и на переднем конце. Максимальное истощение ресурса пластичности здесь также можно объяснить наличием растягивающих напряжений в приконтактных слоях.

#### Выводы:

- Проанализированы возможные причины возникновения трещин при прокатке непрерывнолитых заготовок на литейно-прокатном комплексе;
- разработаны программы по вычислению поврежденности  $\psi$  с использованием среды моделирования Ansys Mechanical APDL для различного вида заготовок;
- установлено, что при решении задач прокатки широких полос вероятность возникновения трещин связана с напряженно-деформированным состоянием заготовки, свойствами металла;
- предложенный метод позволяет проанализировать места истощения ресурса пластичности металла, что может быть использовано при расчете поврежденности слэбов различной высоты ЛПК ВМЗ.

#### Литература

1. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. Изд-во «Металлургия», 1970. – 229 с.
2. Рейтман М.И. Залог прочности. – М.:Стройиздат, 1979. – 136 с.
3. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. Учебник для вузов. М., «Металлургия», 1980. – 456 с.
4. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 399 с.
5. Особенности формирования прикромочных трещин при производстве горячекатаного проката на современных толстолистовых, широкополосных станах и литейно-прокатных комплексах. Часть 1. / А.В. Мунтин [и др.] : УДК 669.017:539.3
6. Особенности формирования прикромочных трещин при производстве горячекатаного проката на современных толстолистовых, широкополосных станах и литейно-прокатных комплексах. Часть 2. / А.В. Мунтин [и др.] : УДК 669.017:539.3

**УДК 621.986**

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНА ЛОКАЛЬНОЙ ФОРМОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Эльвира Римовна Литвинова

*Студенка 6 курса,*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: И.Е. Семенов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Солнечный коллектор – это устройство, которое преобразует солнечную энергию в тепловую энергию носителя. Солнечный коллектор состоит из корпуса, элемента, поглощающего солнечное излучение (теплоприемная панель), системы циркуляции теплоносителя, прозрачного покрытия и теплоизолирующего слоя. Самая главная и трудоемкая часть в нем – это теплоприемная панель. Она состоит из двух сваренных между собой гофрированных металлических листов внутри которого циркулирует теплоноситель. В настоящее время такие панели штампуются на прессах. Однако, из-за чисто технологических проблем (ограничений по глубине канала) при штамповке такие панели выгодней изготавливать на стане локальной формовки.

В качестве ближайшего аналога нами был выбран стан для обработки металлического листа давлением, состоящий из нескольких групп клеток с парами валков [1]. Первая группа валков обеспечивает подгибание кромок листа на угол 90 град. в технологических целях, вторая группа клеток имеет профилированные металлические валки и валки с эластичным покрытием. В этой группе клеток происходит формообразование каналов по методу прямой и обратной формовки, последняя группа клеток выпрямляет отогнутые кромки, все клетки объединены в одну технологическую линию и имеют общий привод.

При производстве панелей теплообменников на устройстве данного типа наблюдается снижение производительности, так как сборка гофрированных листов в панель теплообменника происходит вручную методом контактной сварки на специальном стенде. Производительность этой операции довольно низка, и задачей нашей модернизации является повышение производительности операций сборки теплообменных панелей из гофрированных листов, таким образом, чтобы при производстве удалось использовать преимущество высокой производительности стана знакопеременной формовки.

Рассматриваемый нами производственный комплекс по патенту [2] помимо модернизированного стана знакопеременной формовки включает в себя моталки, направляющие, сварочную клетку контактной сварки, участок резки. Благодаря объединению технологических операций получения гофрированных листов и их сборке в панели солнечных коллекторов удастся получить полный автоматизированный производственный цикл по производству панелей солнечных коллекторов.

Трехмерная модель модернизированного стана локальной формовки в составе комплекса для изготовления солнечных коллекторов представлена на рисунке 1. Комплекс для производства панелей состоит из двух моталок и двух направляющих клеток (левая часть рисунка), модернизированного стана знакопеременной формовки (центр рисунка), сварочной клетки и участка резки (правая часть рисунка).



Модернизированный стан знакопеременной формовки представляет собой двухуровневую конструкцию. На первом (нижнем) уровне располагается линия формовки, состоящая из 6-12 клеток, на которой осуществляется формовка каналов. Аналогичный процесс формовки может осуществляться и на втором уровне стана, в случае установки соответствующей группы клеток. В сварочной клетке осуществляется сварка двух полос листового металла, поступающих с первого и второго уровня стана знакопеременной формовки соответственно, тем самым повышая производительность, по сравнению с оригинальной конструкцией. Резка на мерные длины выполняется на участке резки.

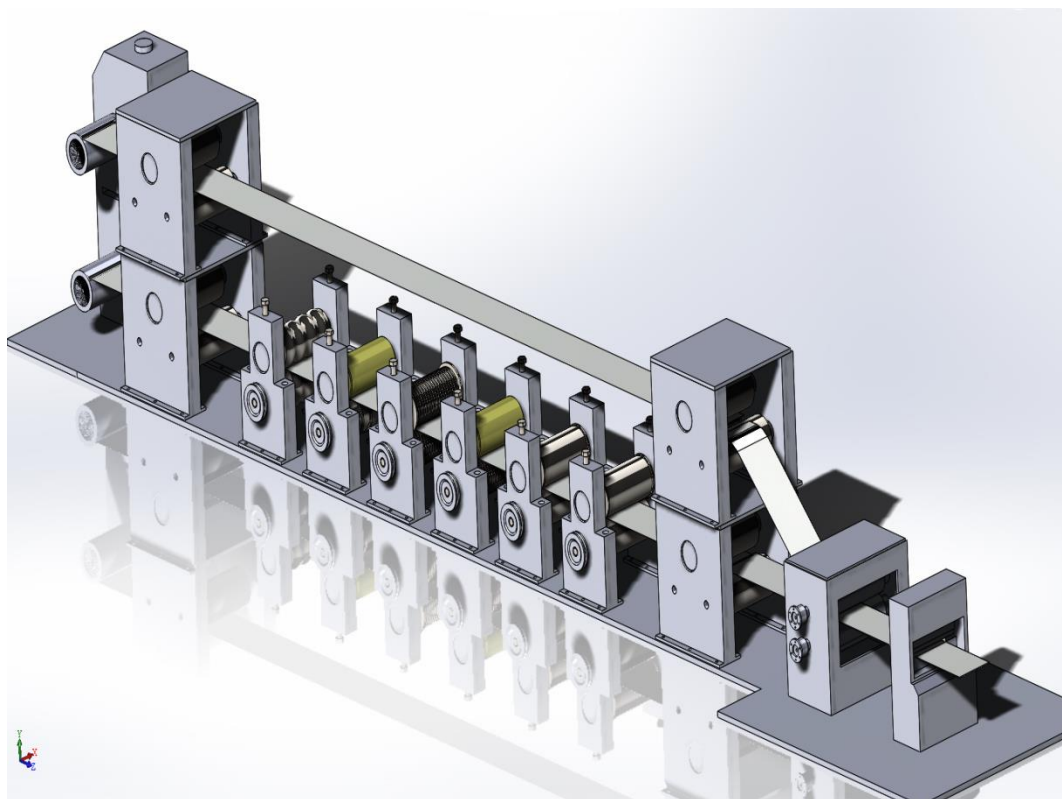


Рис.1. Модель комплекса (вариант для панелей с одной гладкой стороной)

Использование комплекса для производства панелей солнечных коллекторов из двух металлических листов, благодаря одновременной и непрерывной реализации процессов формовки, сварки, и резки позволяет существенно повысить производительность, и создает условия для более гибкого производства теплообменных панелей в широком диапазоне длин.

### Литература

1. Семенов И.Е., Рыженко С.Н., Поворов С.В. Стан для обработки металлического листа давлением.: пат. Р.Ф. № 2368446 С1 RU В 21D 13/04 В21D 5/06 Опубл. 27.09.2009. Бюл. № 27.

2. Семенов И.Е., Рыженко С.Н., Поворов С.В. Стан для обработки металлического листа давлением: пат. 2268805 RU B21, D7/08 Опубл. 27.12.2009. Бюл. № 33.

**УДК 621.774.06:621.771.63-462.2**

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАНОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ТРУБ**

Андрей Анатольевич Моисеев

*Студент 6 курса*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В настоящее время заводы-производители труб ищут пути обеспечения как массового, так и серийного производства труб. При этом необходимо иметь возможность расширить сортамент изготавливаемых труб по типоразмеру и по маркам стали. Данные условия предъявляют высокие требования к «гибкости» оборудования, т.е. возможность быстрой перенастройки оборудования при переходе на другой типоразмер и (или) марку стали.

Трубоэлектросварочные агрегаты, построенные в прошлом столетии, в первую очередь рассчитаны и спроектированы на массовое производство электросварных труб. Конструкция клеток представляла из себя станину, в которой были закреплены два горизонтальных вала («классическая» конструкция). Профиль калибра имел сложную форму, чтобы гнуть полосу по определенным радиусам и на определённые углы (рисунок 1). Большим недостатком данных клеток является долгая перевалка, которая может занимать до двух дней (для станков, производящих трубы среднего диаметра). В связи с вышесказанным производителям приходится производить модернизацию оборудования.



Рис. 1. Клетки «классического» типа

Модернизация может включать в себя модернизацию основного оборудования (т.е. только участок формовочного стана), либо полную модернизацию всего комплекса оборудования. Модернизация основного оборудования может быть частичной, либо полной. К частичной модернизации относится внедрение дополнительных клеток, например, эджерных. Полная модернизация может подразумевать замену клеток на новые ввиду износа старых, либо замена на оборудование, реализующее производство труб по другой технологии.

Для обеспечения таких широких возможностей производства необходимо проанализировать возможности современных технологий, с помощью которых реализуется «гибкость» оборудования.

На сегодняшний день существует три основных технологии, позволяющих обеспечивать «гибкость» производства: кластерные клетки, Cage Forming и FFX (от компании Nakata).

Технология кластерных клеток является наиболее простой среди упомянутых (рисунок 2). Её суть заключается в том, что на трубоформовочном стане применяются кластеры из 3-4 клеток «классического» типа, о которых говорилось выше. При переходе на новый типоразмер кластер снимается со станины, а на его место устанавливается другой, который был подготовлен заранее. Данный способ применяется в основном на станах для производства труб малого диаметра, ввиду малых габаритов и невысоких формирующих усилий.



Рис. 2. Кластерные клетки на трубоформовочном стане

Применение набора (кластера) из классических клеток обеспечивает производство труб как массово, так и серийно. Простота конструкции и системы управления является одной из привлекательных сторон данного оборудования.

#### **Литература:**

1. Колесников А.Г., Соколова О.В., Скрипкин А.Ю., Лепестов А.Е. Новый взгляд на модернизацию трубоэлектросварочных агрегатов для производства прямошовных сварных труб. – МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия.2009г.
2. Соколова О.В., Лепестов А.Е., Моисеев А.А. Пути расширения технических возможностей оборудования для производства труб нефтегазового сортамента методом валковой формовки – Производство проката. 2014. № 4. С. 28-30.

**УДК 621.774.06:621.771.63-462.2**

## **СОСТОЯНИЕ СТАНОВ ХПТ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ РОССИИ**

Пётр Петрович Плотников

*Студент 5 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана.*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В последнее время всё больший интерес вызывают наиболее экономичные и производительные способы получения труб. Основная доля объема производства труб принадлежит трубам малого диаметра. Высококачественные бесшовные трубы малого

диаметра, в основном, изготавливались продольной периодической прокаткой, прессованием и волочением. Особенно остро стоит вопрос о получении труб с высокой дробностью размеров, так как наметилась тенденция приближать размеры заготовок к размерам готового изделия. Для изготовления такой продукции, кроме распространенных методов получения труб, необходимо применять качественно новые способы, которые стали возможны благодаря появлению современного высокотехнологичного оборудования. Использование новых способов обработки, как правило, требует исследовать прежние расчеты на пригодность и по необходимости уточнять их или же искать новые подходы определения основных расчетных параметров. Большие преимущества и широкое распространение холодно-деформируемых труб обуславливают возрастающую роль холодной прокатки в общем объеме прокатного производства. Развитие целого ряда отраслей современной техники, в том числе котло - и турбостроения, атомной энергетики, авиастроения, подшипниковой промышленности и химии во многом зависит от возможностей получения высококачественных, холоднодеформированных труб.

Основными достоинствами холоднодеформированных труб являются:

- повышенная точность геометрических размеров
- высокая чистота как наружной, так и внутренней поверхности, соответствующая классу чистоты
- значительное упрочнение металла трубы
- применение больших коэффициентов вытяжки (до 9)
- возможность получения особотонкостенных труб
- возможность получения труб переменного сечения
- высокий коэффициент выхода годного продукта, что определяется незначительными отходами при прокатке и сравнительно низким процентом брака

Деформацию заготовки при производстве холоднодеформируемых труб проводят в один или несколько циклов в зависимости от её геометрических размеров, свойств используемого металла, способа деформации, размеров и требований к качеству готовых труб. Существует несколько способов деформации: холодная (теплая) прокатка, волочение на оправке и безопрывочное волочение.

Однако состояние оборудования на многих предприятиях находится в плачевном состоянии. В работе сравниваются современное оборудование как отечественное, так и импортное с существующим, требующим, скорее всего не модернизации, а полной утилизации.

## Литература

1. Чечулин Ю.Б., Кондратов Л.А., Орлов Г.А. Холодная прокатка труб. М.: Металлургиздат, 2017., - 332с.

2. *Коликов А.П.* и др. Машины и агрегаты трубного производства. Москва "МИСИС", 1998. - 540с.
3. *Комкова Т. Ю., Соколова О.В., Восканьянц А.А.* Технология и оборудование производства труб на станах ХПТ. Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2007., - 39 с.

**УДК 621.771.2**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ**

Эльмар Агакишиевич Салманов, Сергей Дмитриевич Скачков

*Студенты 6 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»  
Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Колесников,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»,  
НУК МТ*

Активное развитие промышленности и роста потребности в новых высококачественных материалах привели к прогрессу разных отраслей металлургии. Наряду с имеющимися технологиями производства конструкционных материалов особый вклад в развитие данного направления внесли многослойные композитные металлические материалы с ультрамелкозернистой структурой. Данные материалы обладают высокими физико-механическими, а также типизированными свойствами конструкционных материалов применяемых в промышленности. Одним из методов производства многослойных композитных материалов с ультрамелкозернистой структурой является пакетная прокатка. В данной работе проведено исследование влияния факторов повышающих свойства многослойных материалов полученных методом прокатки.

Целью данной работы является, исследование энергетических параметров прокатки многослойного композитного материала из марок алюминия АМг6 и АМц3, а именно зависимости между сопротивлением деформации и суммарного истинного обжатия. Также исследования технологии прокатки многослойного алюминиевого листа.

Предметом исследования был композиционный материал, состоящий из чередующихся слоев алюминия марок АМг6 и АМц3. По результатам эксперимента были получены значения сил прокатки, а также были получена зависимость значения сопротивления деформации от суммарной деформации.

В многослойных металлах наблюдается увеличение сопротивления деформации с ростом суммарной деформации, не смотря на то, что прокатка ведется в горячую. В результате проведенных экспериментов, по получению материалов с ультрамелкозернистой структурой методом многослойной прокатки, по данной технологии установлено:

- Увеличения фактического сопротивления деформации с увеличением суммарной деформации;

- Схожесть характера изменения кривых, сопротивления деформации в зависимости от суммарного обжатия, для композиций сталей марок У8 и 08Х18Н10Т и композиций алюминия АМг6 и АМц3;

В обоих опытах геометрические параметры одинаковы, а энергосиловые аналогичны. Так как, в обоих случаях прокатка является горячей, но все же наблюдается упрочнение, можно утверждать, что данное наблюдение связано со структурными изменениями.

### **Литература**

1. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С. Теория прокатки. 1982.
2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Мечиев Ш.Т., Михальцевич И.Ю. Способ получения металлических листов со стабильной субмикроскопической и наноразмерной структурой // Пат. РФ 2380234. Заявл. 08.08.2008.
3. Арюлин С.Б., Халипов И.В. Получение многослойных композиционных материалов методом горячей прокатки // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 7. С. 31–35.

### **УДК 621.771**

#### **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО МАЯТНИКОВОГО СТАНА**

Максим Николаевич Сухоставский, Екатерина Владимировна Лобурь

*Студенты 5 курса, специалитет*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: С.Б. Арюлин,*

*старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

#### **Разработка конструкции и результаты исследования**

Основными задачами при проектировании лабораторного стана было создание простого и надежного устройства механизмов рабочей клетки, поддающихся легкой сборке и настройке при монтаже и эксплуатации, а также экономичного привода.



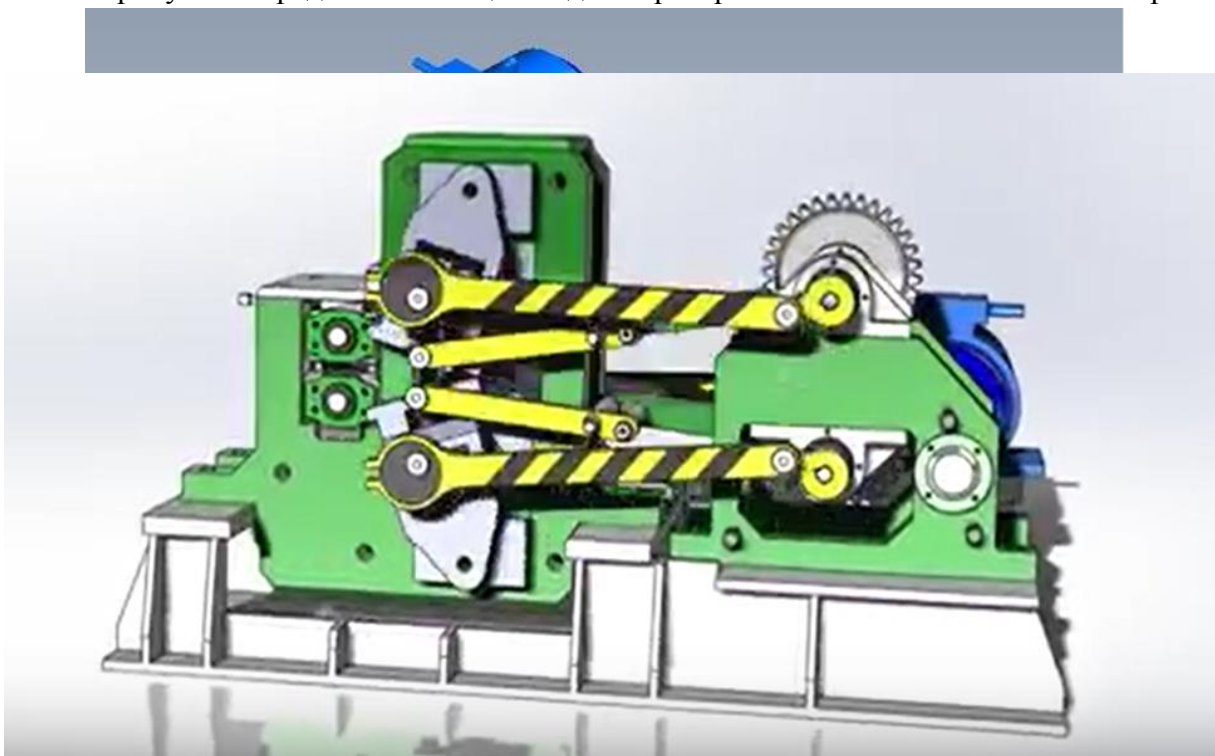
Одной из таких конструкций стал лабораторный маятниковый стан с опорной профилированной планкой, общий вид которого представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Общий вид маятникового стана с опорной профилированной планкой

Обжатие металла осуществляется по закону, задаваемому формой профилированной планки, которая во время прямого рабочего хода маятников остается неподвижной, в то время как при обратном ходе планка с траверсой, а вместе с ними и рабочий валок удаляются от оси прокатки для пропуска металла непрерывно подающегося из задающей клетки. Таким образом, траектория движения рабочего валка маятниковой клетки представляет из себя замкнутую кривую, состоящую из криволинейной – обжимной участок и прямолинейной частей – калибрующий участок. Траектория была оптимизирована путем выбора необходимой амплитуды качания маятника и формы профилированной планки для обеспечения требуемого закона обжатия металла.

Одним из вариантов выполнения конструкции рабочей клетки лабораторного маятникового стана стал прокатный стан, в котором роль опорных элементов, а также элементов конструкции, обеспечивающих необходимую траекторию движения рабочих валков при их прямом и обратном ходе и задающих закон обжатия прокатываемого металла, выполняют опорные профилированные валки.

На рисунке 2 представлен общий вид лабораторного маятникового стана с опорным



профилированным валком.

Рис. 2. Общий вид маятникового стана с опорным профилированным валком

В процессе прокатки маятники с рабочими валками совершают колебательные движения относительно неподвижных центров качания. При прямом (рабочем) ходе маятников рабочие валки обжимают заготовку по закону, задаваемому частью профиля опорных валков, постоянно вращающихся синхронно с валами кривошипа привода маятников, вследствие наличия между ними кинематической связи. При обратном ходе маятников, благодаря форме другой части профиля опорных валков, подвижные траверсы с корпусами рабочих валков перемещаются в стороны от оси прокатки на расстояние, необходимое для того, чтобы рабочие валки, движущиеся против хода прокатки, не



касались постоянно подаваемого в зону деформации металла. Таким образом, траектория движения рабочих валков (или их центров), а значит и конфигурация наружного контура зоны обжатия прокатываемой полосы, зависят от выбранной формы профиля опорного валка. Следует также отметить, что для получения прокатываемой полосы без гребешков на готовом изделии (характерном для станов периодической прокатки с круговой рабочей траекторией движения центра рабочего валка), необходимо, чтобы траектория рабочего валка в конце рабочего хода имела калибрующий участок (движение валка параллельно оси прокатки), что также обеспечивается формой профиля опорного валка. Для изготовления такого профилированного опорного валка, а также возможности перехода на другой профиль опорного валка в зависимости от получения желаемой конфигурации наружного контура зоны обжатия прокатываемой полосы, необходимо иметь строгую математическую зависимость между конфигурацией наружного контура зоны обжатия и формой опорного валка. С этой целью была разработана методика определения профиля опорного валка маятникового прокатного стана, позволяющая при заданных кинематических параметрах рабочей клетки получать траекторию движения рабочего валка, обеспечивающую требуемый закон обжатия прокатываемого металла, изложенная в литературе.

Поиски в направлении упрощения выполнения привода и синхронизации механизма качания маятников и вращения опорных профилированных валков привели к разработке конструкции лабораторного маятникового стана с цепным приводом.

На рисунке 3 представлен общий вид лабораторного маятникового стана с механизмом синхронизации качания маятников и опорных валков через систему зубчатых колес и цепную передачу.

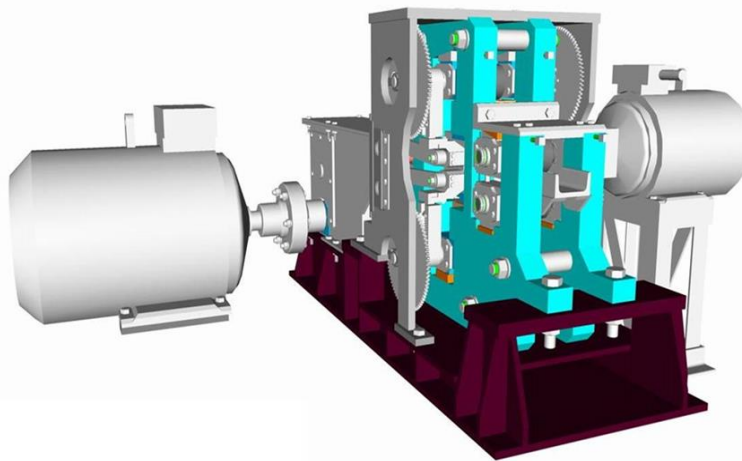


Рис. 3. Общий вид лабораторного маятникового стана с цепным приводом

На основе разработанной методики расчета параметров очага деформации и энергосиловых показателей процесса маятниковой прокатки, была создана универсальная программа, позволяющая определять все параметры и показатели процесса в функции угла пробега рабочим валком зоны деформации, от момента касания металла, до отрыва от него в конце калибрующего участка. Данная программа позволяет исследовать процесс прокатки в том числе и при изменении технологических (подача, размеры заготовки, величина обжатия, частота качания маятников) и конструктивных (радиус рабочего валка,

амплитуда качания маятников) параметров для всех разработанных схем маятниковых станов.

Следующим этапом в исследовании лабораторного маятникового стана стало конечно-элементное (КЭ) моделирование процесса прокатки на этом стане свинцовой заготовки на основе эйлерова описания поведения сплошной среды. Целью моделирования явилось получение дополнительной информации об энергосиловых параметрах процесса прокатки свинцовой полосы на лабораторном маятниковом стане для сравнения с результатами расчета по аналитическим зависимостям, а также информации о напряженно-деформированном состоянии прокатываемой заготовки. Для обеспечения корректности сравнения моделирование проводилось с исходными технологическими данными аналогичными расчетному методу. Полученные в результате моделирования значения энергосиловых параметров прокатки были сопоставлены с расчетными значениями. Проведенное моделирование показало практически полное соответствие энергосиловых показателей прокатки свинцовой полосы на лабораторном маятниковом стане полученных этим методом и расчетным. Результаты исследования приведены в научной статье.

Также была проведена проверка на прочность наиболее нагруженных деталей и узлов лабораторных маятниковых станов. Расчеты проводились при характерных для этих лабораторных станов технологических параметрах прокатки свинцовой заготовки сечением 9,6 мм × 36 мм на полосу с высотой 1,6 мм при различных подачах металла на один ход рабочего вала до 2 мм и числе двойных ходов маятников 60 в минуту. Несмотря на большие обжатие и вытяжку ( $\lambda = 6$ ) свинцовой полосы в маятниковом лабораторном стане, незначительное в силу специфики периодической прокатки усилие (5,5 кН), приходящееся на рабочий валок, не вызывает в конструкции напряжений близких к критическим. Таким образом, прочностные расчеты показывают достаточный запас прочности конструкции лабораторных маятниковых станов, а энергетические расчеты - достаточность для обеспечения процесса прокатки в маятниковой клети электродвигателя мощностью 1,5 кВт (4A100L8Y3).

## Заключение

Незначительные габариты стана 1300x530 мм и невысокие расчетные значения весовых характеристик входящих в него деталей и механизмов 220 кг обуславливают возможность изготовления и запуска маятникового лабораторного стана, работы над которым на кафедре сейчас находятся в стадии рабочего проектирования. Учитывая, что при изготовлении лабораторного стана предусмотрено приобретение небольшого количества покупных изделий (эл. двигателя, зубчатые колеса, шестерни), а большая часть деталей может быть выполнена с использованием лабораторных баз кафедры и университета, реальность осуществления проекта представляется очевидной. Изготовление лабораторного маятникового стана и проведение на нем экспериментальных исследований могут явиться доказательной базой работоспособности выбранной конструктивной схемы и послужить основанием для постановки вопроса о разработке промышленного стана.

## Литература

1. *Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г.* Маятниковая прокатная клеть а.с. 1072326 СССР 1983.
2. *Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г.* Маятниковая прокатная клеть а.с. 1125840 СССР 1984.

3. *Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г.* Универсальная клеть маятникового прокатного стана а.с. 1129798 СССР 1984.
4. *Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г.* Маятниковая прокатная клеть а.с. 1339949 СССР 1987.
5. *Арюлин С.Б., Евстропов Г.М.* Определение длины мгновенного очага деформации в момент обжатия при прокатке на станах периодического действия. // Заготовительные производства в машиностроении. 2003.№3.
6. *Галкин М.П., Никитин Г.С., Арюлин С.Б.* Маятниковые прокатные станы. // Заготовительные производства в машиностроении. 2003.№6. с 30-32.
7. *Арюлин С.Б.* Определение длины калибрующего участка на стане периодического действия. Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции// Машиностроительные технологии. М.: МГТУ им Н.Э.Баумана. 2008.-296с.
8. *Иванов А.В., Восканьянц А.А.* Моделирование технологических задач пластичности на основе эйлерового описания движения сплошной среды// Наука и образование. МГТУ им.Н.Э.Баумана.Электронныйжурнал.2010.№2Режимдоступа:<http://technomag.edu.ru/doc/137527.html> (дата обращения 06.11.2012)
9. *G.Z.Wang, Z.N.Cheng, K.Becker, J.Wilde.* Applying Anand Model to Represent the Viscoplastic Deformation Behavior of Solder Alloys/ Journal of Electronic Packaging.2001,№9,247-253.

## УДК 621.981

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НА ПРОФИЛЕГИБОЧНЫХ СТАНКАХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ

Максим Анатольевич Храмов<sup>(1)</sup>, Илья Алексеевич Бродский<sup>(2)</sup>

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>, студент 2 курса<sup>(2)</sup>, бакалавриат  
кафедра «Материаловедение и Обработка металлов давлением»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Г. Попов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»*

Продольная гибка профилей из авиационных материалов традиционно на авиационных заводах осуществляется с растяжением, при этом используются обтяжные пуансоны и специальные профилегбочные станки [1]. Наряду с высокими затратами на технологическую оснастку, продольная гибка с растяжением предполагает термообработку профилей для обеспечения необходимой пластичности труднодеформируемым авиационным материалам.

Положительное влияние радиальных напряжений в процессах продольной гибки авиационных конструкций отмечается и в работах [2,3], а именно на внешнем растянутом волокне уменьшается опасность образования трещины при гибки с радиальным сжатием по малому радиусу, а увеличение гидростатического давления повышает пластичность металла, что особенно актуально для высокопрочных алюминиевых сплавов.

Реальным внедрением в самолетостроении перспективных методов продольной гибки с радиальным сжатием может служить разработанная в ОАО «Ульяновский НИАТ» технология совмещенных процессов формообразования (профилирования) методом стесненного изгиба (СИ) и продольной гибки тонкостенных профилей из листовых авиационных материалов на гибочно-прокатных станках серии ГПС. На рис. 1

представлена схема продольной гибки профиля с радиальным сжатием на станке ГПС, оснащенный дополненным гибочным модулем 2.

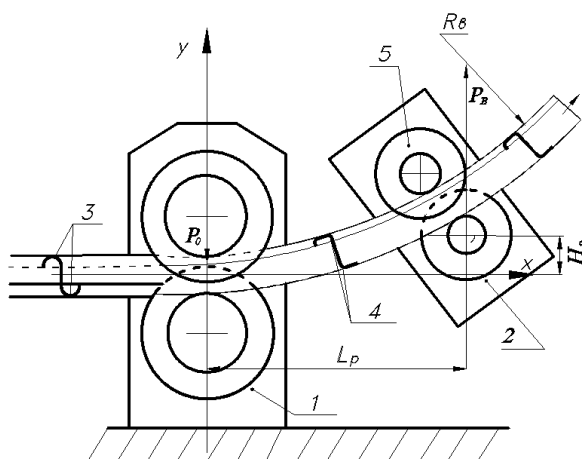


Рис. 1. Схема продольной гибки тонкостенного профиля с радиальным сжатием на станке ГПС:

1- последняя клетка окончательного формообразования профиля; 2 – гибочный модуль; 3 - полуфабрикат профиля до осаждения полок; 4 – готовый профиль; 5 – ролики гибочного модуля.

Осадка полок и смещение металла в места изгиба методом СИ решает задачи по созданию сложных форм поперечных сечений, повышению жесткости и прочности тонкостенных профилей из труднодеформируемых листовых авиационных материалов.

Совершенствование процессов гибки, равно как и всех процессов обработки материалов давлением есть неотъемлемая часть процесса развития как авиации так и всей техники в целом. В нашем случае это имеет особое значение. Наша страна в плане промышленности находится в позиции догоняющего и сейчас как восемьдесят лет назад нам необходимо догнать и перегнать развитые страны в производстве и обработке металлов.

### Литература

1. Лысов М. И., Сосов Н. В. Формообразование деталей гибкой. - Машиностроение, 2001. – 388 с.
2. Еришов В. И., Кийко И. А. Гибка листа с дополнительным нагружением очага деформации // Изв. ВУЗов сер. Авиационное, 1976. №1. - с. 41-48.
3. Heston T. Tube bending with no straights? No problem. Wisconsin tube shop invests in freeform bending technology // The FABRICATOR, 2010. November 1.
4. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.

**УДК 621.74**

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МАШИНЫ С ЦЕЛЬЮ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗЛИВКИ СПЛАВОВ И ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК

Зураб Абесаломович Цхадаиа , Олег Михайлович Шафиев

*Студенты 4 курса, специалитет*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Стулов Вячеслав Викторович,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Моделирование тепловых процессов в кристаллизаторе машины, в том числе, при разработке новых конструкций и систем их охлаждения является актуальной задачей.

Моделирование может выполняться как с разливкой жидких металлов (свинец и его сплавы) с получением численных значений критериев подобия процесса, так и с использованием электрообогреваемых моделей [1-2]. В последнем случае отпадает необходимость разливки жидких расплавов в модель кристаллизатора и обеспечивается соблюдение экологии окружающей среды. Регулирование подводимой к модели электрической нагрузки осуществляется трансформатором. В настоящей работе моделируются тепловые процессы путем размещения в полости кристаллизатора нагревательного элемента на поверхности центрального сердечника, предназначенного для получения полых цилиндрических заготовок из алюминиевых сплавов, а также из медных сплавов и стали.

По подведенной электрической нагрузке определяется плотность теплового потока в модели кристаллизатора, которая сравнивается с действительными значениями при разливке металлов и сплавов ( $0,5 - 1,5 \text{ МВт/м}^2$ ). При диаметре рабочей полости  $d = 0,095 \text{ м}$  и высоте  $H = 0,1 - 0,15 \text{ м}$  значение площади поверхности  $F_M = (3-4,5) \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$  и минимальное значение подводимого теплового потока от расплава  $q = 15 - 23 \text{ кВт}$ , а максимальное значение  $q_M = 45 - 70 \text{ кВт}$ .

В настоящей работе подводимая к модели электрическая мощность  $N_э \leq 3 \text{ кВт}$ . Ввиду того, что модель кристаллизатора состоит из двух вертикальных половин, то мощность, подводимая к половине модели  $N_{э1} \leq 1,5 \text{ кВт}$ . Часть энергии в виде теплового излучения, а также за счет теплопроводности стенок теряется в окружающую среду (до 30 %). На рис. 1 приведен вид модели стального кристаллизатора.

На приведенных ниже рис.2 и 3 показаны значения перепада температур охлаждающей воды в течение времени с момента включения электрической мощности, а также значения отводимых тепловых потоков.

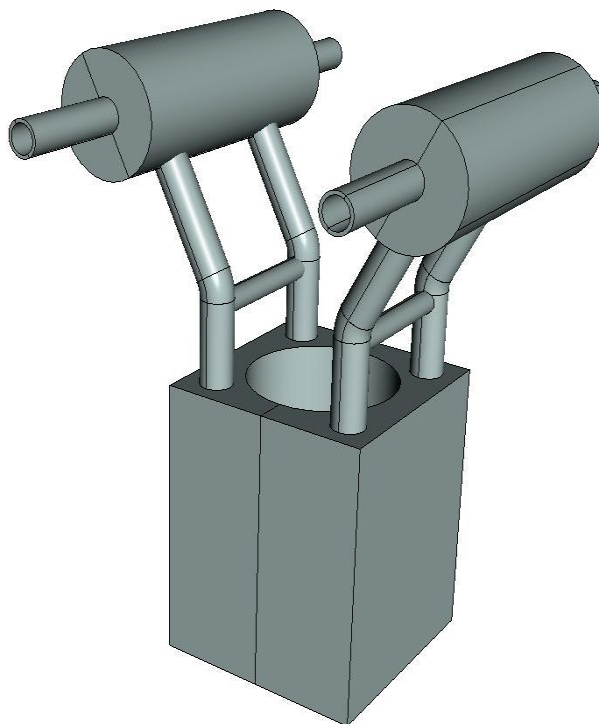


Рис.1 Модель кристаллизатора в сборе

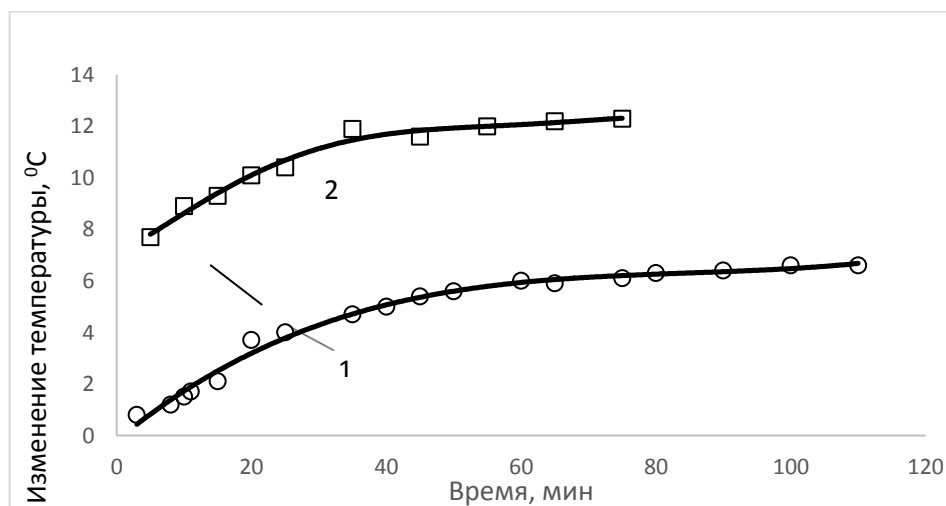


Рис. 2. Зависимости температуры охлаждающей воды от времени при различной мощности нагревателя.

Из рисунка 2 следует, что с увеличением нагрузки наклон кривой к оси абсцисс увеличивается, что свидетельствует об эффективном протекании процесса теплообмена в модели.

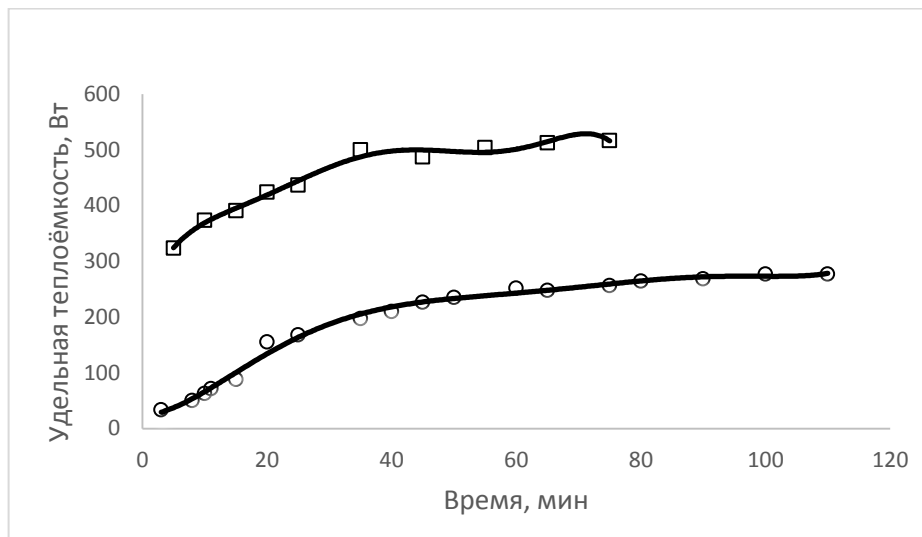


Рис. 3. Зависимости тепловых потоков в кристаллизаторе от времени при различной мощности нагревателя.

Из рис. 3 следует, что с увеличением подводимой нагрузки максимальное значение теплового потока, отводимого водой в модели, увеличивается с 277,2 до 516,6 Вт.

Во втором эксперименте максимальное время нагрева 45 минут. Выключение электрической нагрузки и охлаждение модели показаны на рис. 4. Из рис. 4 следует, что охлаждение кристаллизатора происходит за более короткий промежуток времени (30 минут), что свидетельствует о более интенсивном протекании процесса теплообмена в прогретой конструкции.

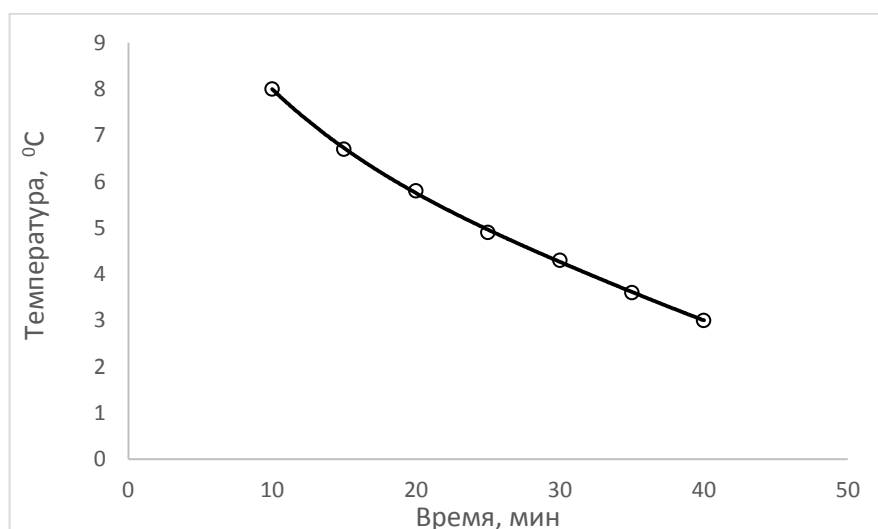


Рис. 4. Зависимость перепада температур охлаждающей воды в кристаллизаторе от времени при отключенной электрической нагрузке.

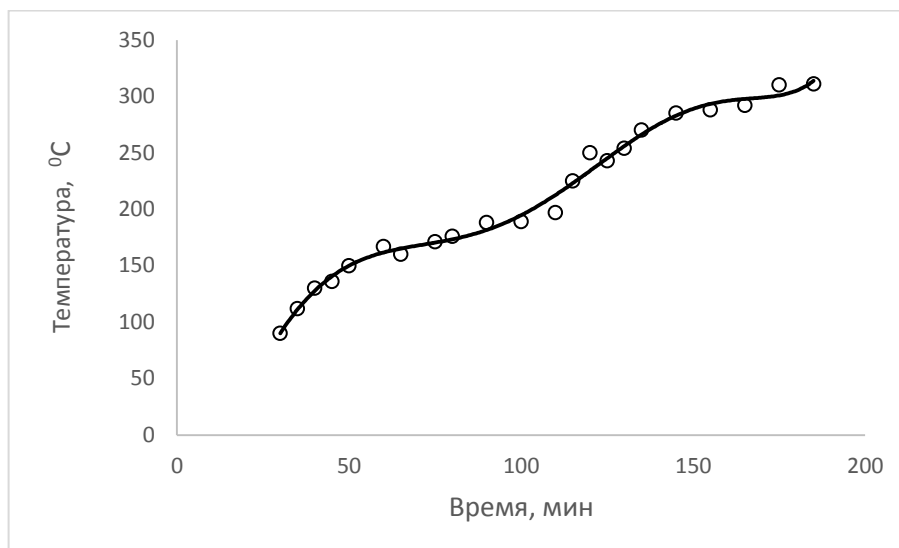


Рис. 5. Зависимость температуры неохлаждаемой стенки модели кристаллизатора от времени при включенной электрической нагрузке.

Охлаждение стенки модели позволяет более эффективно управлять температурой стенки и процессом охлаждения по сравнению с неохлаждаемой стенкой, температура которой показана во времени на рис. 5.

Выводы. Полученные положительные результаты работы системы охлаждения модели кристаллизатора будут использованы для исследования системы охлаждения при увеличении электрической мощности до  $N_3 = 15 - 25$  кВт и контроля параметров модели (температура стенки, температура охлаждающей воды, температура паропроводов) с использованием электронного автоматизированного комплекса с выводом показаний на компьютер, которые будут использованы в дальнейшем при отработке режимов разлива в кристаллизатор жидких металлов и расплавов.

## Литература

1. Стулов В.В. Физическое моделирование охлаждения высокотемпературной техники (в металлургии). Монография. Комсомольск-на-Амуре: Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, 2012. -142 с. ISBN 978-5-7442-1523-1
2. Стулов В.В., Одинокое В.И., Оглоблин Г.В. Физическое моделирование процессов при получении литой деформированной заготовки. Владивосток: Дальнаука, 2009.- 175 с. Монография. ISBN 978-5-8044-1098-9

УДК 621.77.07

## РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛАСТИЧНОГО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНЕ ЛОКАЛЬНОЙ ГИБКИ ФОРМОВКИ.

Константин Эдуардович Шалимов

Студент 6 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: И.Е. Семенов

доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»



В последние годы, использование полимеров в качестве рабочего инструмента особенно актуально. Связано это со значительными темпами роста таких производственных сфер, как строительство, авиастроение, приборостроение, производство товаров широкого потребления.

Перспективными материалами в данной области оказались полиуретановые эластомеры, изготавливаемые на основе синтетического каучука. Они обладают уникальным сочетанием высоких физико-механических показателей, отличным сопротивлением истиранию, масло-бензостойкостью, сохранением эластичности в широком диапазоне твердостей и, что особенно важно, способностью выдерживать высокие удельные нагрузки.

Так, например, для деформации тонколистового металла на станах локальной формовки, Пат. RU 2246369 [1], в качестве инструмента применяют жесткий вал с эластичной оболочкой, схема представлена на Рисунке 1.

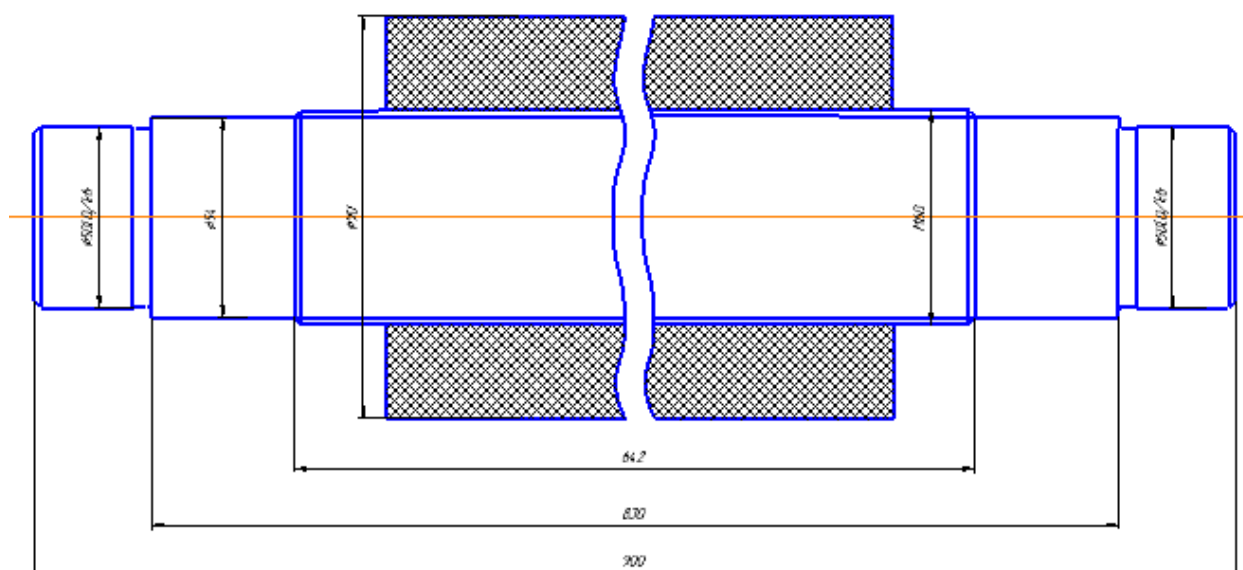


Рис. 1. - Жесткий вал с эластичной оболочкой

Недостатком процесса формовки является то, что при использовании эластичной среды мы ограничены тем фактом, что давление этой среды даже из полиуретана самых твердых марок типа СКУ-ПФЛ, недостаточно для деформирования листовых сталей. Для увеличения давления необходимо увеличить жесткость эластичного рабочего инструмента.

Добиться увеличения жесткости эластичного инструмента можно двумя путями:

- использование эластичного инструмента с регулируемой жесткостью;
- использование армированного эластичного инструмента.

Второй вариант был выбран в качестве цели исследовательской работы, а именно: продемонстрировать увеличение жесткости эластичной рабочей среды, как следствие её армирования кевларом К9 по сравнению с рабочей средой, выполненной из полиуретана СКУ – 7Л.

Моделирование проводилось с использованием специального комплекса программ «ANSYS».

Проведенное моделирование процесса осадки эластичных образцов выполненных из полиуретана СКУ – 7Л и СКУ – 7Л армированного кевларом К9 и последующее сравнение результатов, позволяет отметить увеличение контактных напряжений по оси У

с  $-9,722$  МПа до  $-15,412$  МПа, что составляет примерно 40%. Сравнение представлено на Рисунке 2.

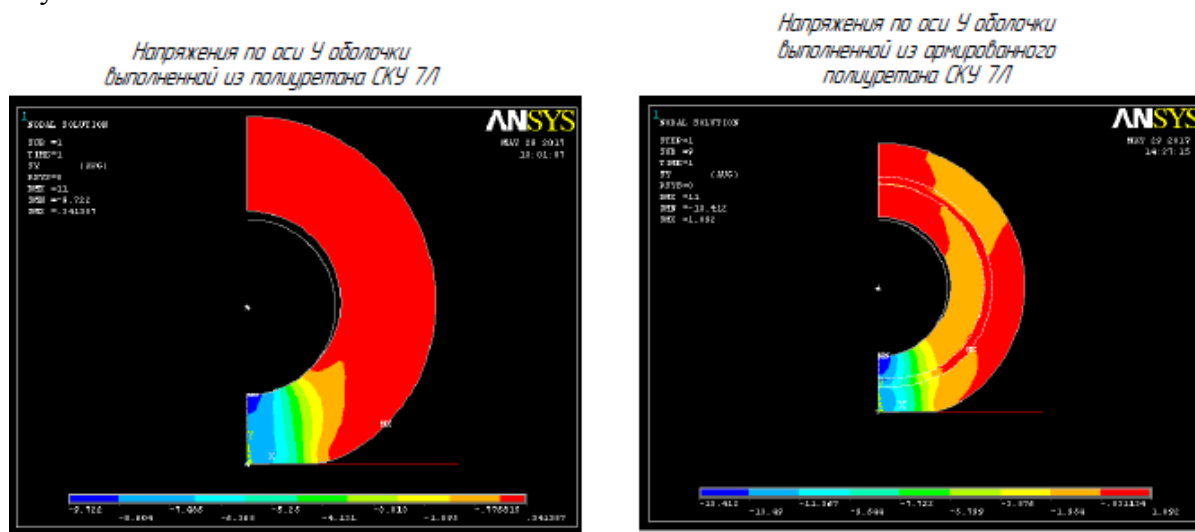


Рис. 2. – Моделирование процесса осадки на обычном и армированном полиуретане

Увеличение зон максимальных контактных напряжений представлено на Рисунке 3.

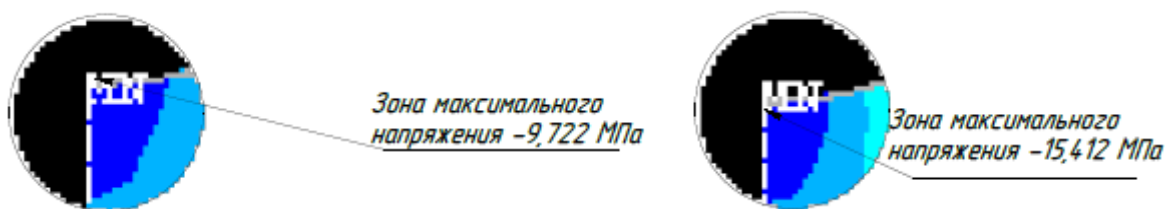


Рис. 3. – Зоны максимальных напряжений

Армирование эластичного инструмента кевларом позволяет значительно расширить технологические возможности стана локальной гибки формовки, позволяя проводить деформацию не только мягких алюминиевых сплавов, таких как АМг9, но и тонколистовых низкоуглеродистых сталей толщиной до 0,5мм.

### Литература

1. Пат. RU 2246369 С2. РФ, МКИ В 21D 22/10, 5/14. Стан локальной формовки для изготовления элементов панелей плоских теплообменников. /Семенов И.Е., Чеканова О.Р., Сербин А.Г. (РФ). - №2003110224/02; Заявл. 10.04.03. Опубл. 20.02.05. Бюл. №5.

УДК 621.74

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗЛИВКИ НА СПЛАВЕ Sn-Pb И ПОЛУЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПРОКАТКИ**

Олег Михайлович Шафиев, Зураб Абесаломович Цхадаиа

*Студенты 4 курса, специалитет**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: В.В. Стулов,**доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Изучение процессов тепло - и массообмена на моделях, как физических, так и математических, является актуальным как в нашей стране, так и за рубежом, в частности, при изучении работы объекта в новых условиях его охлаждения с целью определения параметров и их значений, коренным образом влияющих на процессы затвердевания и показатели работы системы охлаждения. Перечисленные задачи широко обсуждаются на международных конференциях [1,2] и в итоге направлены на повышение качества и конкурентоспособности металлопродукции, снижение энерго - и ресурсоемкости производства, что нашло отражение в Государственной программе Российской Федерации [3].

Целью настоящей работы является моделирование процесса разлива и охлаждения оловянно – свинцовистого сплава (Sn – Pb, Pb ≤ 10 %) в двух моделях цилиндрических кристаллизаторов: № 1, содержащей замкнутый контур с возможностью кипения в нем теплоносителя, и № 2 – существующей конструкции, охлаждаемой холодной водой.

Стенки кристаллизатора изготавливаются толщиной  $\delta = 10^{-3}$  м из стали 08X18H10T толщиной  $\delta = 10^{-3}$  м. Температура кристаллизации сплава  $t_s = 210$  °С.

Геометрические параметры моделей кристаллизаторов:

№ 1 и № 2 -  $d_{в1} = 0,047$  м – внутренний диаметр,  $d_{н1} = 0,077$  м – наружный диаметр,  $H_1 = 0,16$  м – высота,  $F_0 = 2,17 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup> – площадь поверхности контакта с отливкой,  $F_n = 3,87 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup> – площадь наружной поверхности.

Измерение температуры охлаждающей воды осуществляется цифровым термометром Мегеон 26300 с точностью измерения  $\pm 1$  °С.

Измерение температуры стенки кристаллизатора и конденсатора пара осуществляется оптическим пирометром TemPro 550 с погрешностью 1,5 %.

Предварительно перед разливкой расплава в кристаллизатор он прогревается изнутри до температуры начала активного испарения (кипения) теплоносителя, равной 70 – 80 °С, контролируемого пирометром по температуре стенки.

Установлено, что при диаметре отливки  $d_0 = 0,047$  м максимальное значение толщины корочки в модели существующей конструкции кристаллизатора № 2 достигается за время  $\tau < 60$  с, что в 1,5 раза меньше, чем в кристаллизаторе № 1. Такой показатель может свидетельствовать о более «мягком» охлаждении модели кристаллизатора № 1 по сравнению с моделью № 2.

В процессе исследования также установлено, что при получении отливки в модели № 1 наблюдается незначительное увеличение площади и размеров зерен в сходственных

точках (на 5 – 7 %). Однако, по периметру отливки, полученной в модели № 1, наблюдается более равномерная структура по площади и размерам зерен, в особенности, на краю отливки и на половине радиуса, по сравнению с отливкой, полученной в модели № 2, в которой расхождение площади зерен по периметру отливки достигает 5 %. Средние размеры зерен в отливках, мм: 0,04 – 0,05 – с краю; 0,06 – 0,07 – на половине радиуса; 0,08 – 0,09 – в центре. Полученный результат объясняется, с одной стороны, более высокой температурой стенки модели № 1 (на 20 – 40 °С), а с другой стороны, более равномерным охлаждением пароводяной смесью по периметру цилиндрической стенки модели, по сравнению со стенкой модели № 2, охлаждаемой холодной водой при ее конвективном движении.

**Выводы.** Положительные результаты разлива расплава и тепловой работы модели кристаллизатора с замкнутым испарительно – конденсационным контуром будут использованы в дальнейших исследованиях с заменой теплоносителя с более низкой температурой кипения в замкнутом контуре циркуляции, а также при увеличении в модели передаваемого теплового потока до наступления кризиса кипения теплоносителя. В работе планируется использование автоматизированного контроля температуры стенки модели кристаллизатора.

В модели кристаллизатора № 1 значение температуры на поверхности стенки, контактирующей с отливкой,  $t_1 = 132 - 195$  °С сохраняется более продолжительное время (в 5 – 6 раз больше) по сравнению со значением  $t_1 \leq 134$  °С в модели кристаллизатора № 2. Такой результат свидетельствует о более «мягком» охлаждении стенки в модели № 1 по сравнению с моделью № 2 и будет использован при разработке устройства и технологии для получения цилиндрических заготовок из высоколегированных сталей и сплавов (Cr – Ni – Mo).

### **Литература**

1. 8-я Международная конференция по обработке материалов [ 8 International Conference on Electromagnetic Processing of Materials. Канны, Франция]. 12-16 октября 2015 г.
2. 8-я Европейская конференция по непрерывной разливке 8 th European Continuous Castng Conference. 23-26.06.2014 г. в Граце (Австрия).
3. Государственная программа Российской Федерации № 328 от 15.04.2014 «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

**УДК 621.771.28**

### **СТАН ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ ХПТ 10-45**

Максим Владимирович Школьников

*Студент 6 курса*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Е.В.Лагошина*

*ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Станы холодной периодической прокатки труб валкового типа (ХПТ) предназначены для получения прецизионных труб. Прецизионные трубы - это трубы, к качеству и размерам которых предъявляются повышенные требования. Эти требования регламентированы ГОСТ 9567-75.

Большое влияние на качество и размер прокатываемой трубы оказывает калибровка рабочего инструмента стана ХПТ. Неверные геометрические размеры ручья калибра и оправки могут привести к образованию вмятины, чрезмерной волнистости, гранености, превышению допусков по толщине стенки, разностенности, отклонению диаметра за пределы допусков. Поэтому очень важно правильно выбрать методику расчета калибровки рабочего инструмента.

Калибровка рабочего инструмента для станов ХПТ в своем развитии прошла 3 основных этапа.

Калибровка первого поколения характеризуется постоянной конусностью ручья при постоянной конусности оправки. Распределение обжатий по длине обжимной зоны происходит в нарастающем режиме, достигая максимума в пережиге, что резко ограничивает деформацию металла за проход даже достаточно пластичных сталей. Максимуму деформации соответствует максимум силы прокатки, что часто приводит к поломке оправок. Также недостатком данной калибровки является растрескивание труб вследствие чрезмерного обжатия наклепанного металла. По этим причинам калибровка 1-го поколения больше не используется [3, С.120].

В основу расчета калибровки 2 поколения по методике МИСиС положено определенное изменение относительной деформации, учитывающее значительное снижение пластичности металла в процессе прокатки. Характерной особенностью данной калибровки является ручей калибра, выполненный по плавной кривой при линейной конусности оправки. При расчете рабочего инструмента по методике МИСиС используется большое количество коэффициентов. Методика расчета и входящие в ней коэффициенты получены в результате многочисленных экспериментальных исследований и имеют широкий диапазон значений.

Расчет калибровки 3-го поколения основывается на том, что в каждом мгновенном очаге деформации будет обеспечиваться одинаковая деформация по толщине и диаметру [3, С.136]. Отличительной особенностью калибровки 3 поколения является то, что и оправка, и ручей калибра имеет криволинейную форму образующей

Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике получила калибровка 2-го поколения, разработанная в МИСиС [3, С.122]. Однако из-за широкого диапазона значений коэффициентов, входящих в эту методику, расчет одного и того же маршрута прокатки при различных значениях коэффициентов дает различные геометрические размеры ручья калибра. Следовательно, в общем виде использовать калибровку нельзя. Для получения трубы заданных геометрических размеров и высокого качества поверхности требуется уточнить значения коэффициентов.

Методика расчета калибровки 3-го поколения позволяет получать трубы с точными геометрическими размерами и высоким качеством поверхности трубы, но в открытом доступе в полном объеме она не представлена, т.к. относится к закрытым пакетам программ, используемых для расчетов на современных предприятиях, что не позволило создать корректный профиль ручья калибра.

Поэтому для построения калибровки рабочего инструмента стана ХПТ для маршрута прокатки 60x6мм → 30x3 мм из стали 08х18н10т, была скорректирована калибровка 2-ого поколения по методике МИСиС, опираясь на имеющиеся на заводах значения радиуса ручья калибра и оправки, рассчитанных по калибровке 3-го поколения.

В результате полученных расчетов по скорректированной методике значения диаметра ручья калибра полученного по расчетам калибровок 2 и 3 поколения являются очень близкими (рисунок 1). Это значит, что скорректированная методика позволяет получить трубу заданного качества.

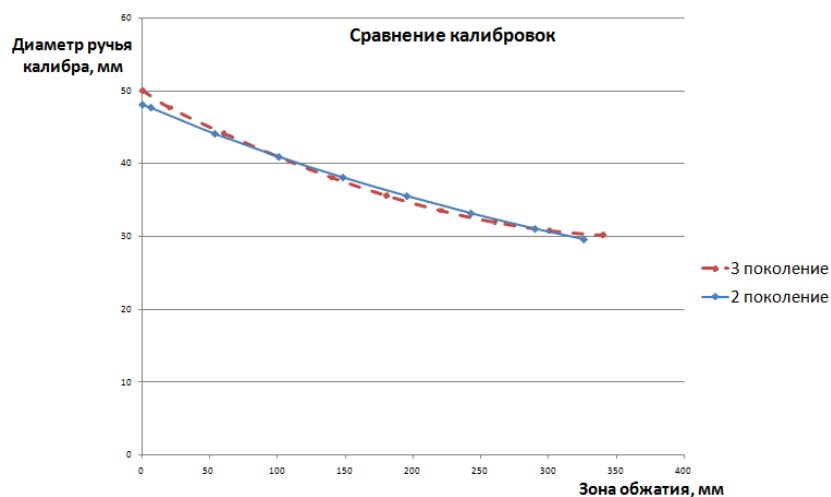


Рис. 1. Сравнение калибровок

### Литература

1. Соколова О.В., Восканьянц А.А., Комкова Т.Ю. Технология и оборудование производства труб на станах ХПТ: учебное пособие по курсу «Технологические основы проектирования прокатных и трубных станов»/ под ред. А.П. Молчанов, О.В. Соколова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 41 с.
2. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. М.: Metallurgizdat, 1963. 272 с.
3. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. Днепропетровск: Пороги, 2005. 260 с.

УДК 621.774.3

## РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ФОРМОВКИ ТРУБ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Даниил Сергеевич Шумков

Студент 6 курса,

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Соколова,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

*В данной работе рассмотрена модернизация линии ТЭСА в рамках освоения производства трубных марок сталей путём установки новых клетей, достоинства и недостатки этого процесса. В том числе рассмотрена технология производства труб на данном оборудовании и её особенности.*

В последние десятилетия на современном рынке наблюдается рост спроса на трубную продукцию широкого сортамента из различных материалов. Связана данная

потребность с развитием многих отраслей промышленности, но в то же время многие современные заводы-производители не могут себе позволить массового производства труб одного и того же типоразмера, так как это не позволяет быстро окупать установленное оборудование.

Отдельное внимание в этом случае стоит уделить проблеме производства профильных (квадратных, прямоугольных и т.д.) труб. На сегодняшний момент качественная профильная труба, цена которой невелика, очень востребована, так как такие изделия имеют универсальную форму, их используют как при обустройстве внутренних каркасов, а так и при проведении внешней отделки. До настоящего времени данные трубы изготавливали путём профилировки или горячей прокатки [1].

Современными производителями станов на основании многочисленных исследований были предложены новые схемы калибровки профильных труб [2]. Данные схемы предполагают в качестве полуфабриката для такой трубы использовать соразмерную круглую трубу [3], которая посредством профилирования в специальных клетях приобретает, к примеру, форму квадрата в поперечном сечении.

Примером такой модернизации является трубоэлектросварочный агрегат 20-76 (ТЭСА 20-76) Выксунского Металлургического Завода. Это позволило расширить сортамент труб, как по размерам, так и по материалам заготовки. Отдельно стоит отметить модернизацию группы калибровочных клетей. Данные клетки были заменены на более практичные клетки сварной конструкции, что упрощает их быструю настройку на другой типоразмер, также это упрощает их ремонт и замену.

Результатом такой модернизации является схема профилирования трубы, пример которой показан на рисунке (рис.1). Профилирование трубы производится в два этапа: вначале происходит непосредственно деформация круглой трубы с получением квадратной формы. На следующем этапе идёт калибровка уже сформированной заготовки [4].

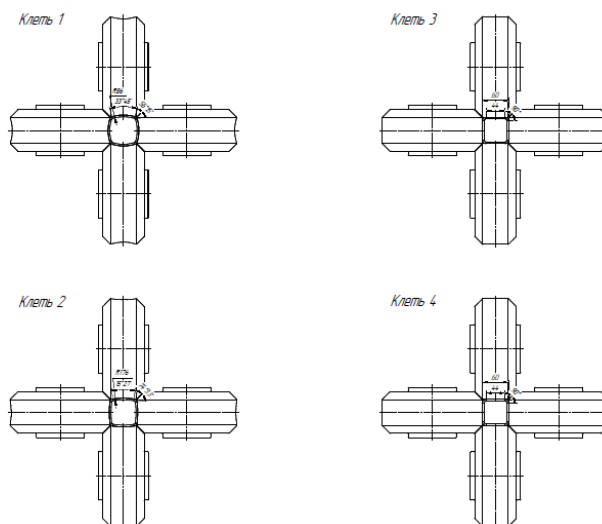


Рис. 1. Калибровка профилировочных клетей стана

Выводы: рассмотрены дополнительные возможности расширения сортамента труб, в том числе профильных на уже существующем оборудовании при его минимальной модернизации.

### Литература

1. *Финкельштейн Я.С.* Справочник по прокатному и трубному производству, М.: Металлургия, 1975 – с. 350.

2. *Соколова О. В., Лепестов А.Е., Моисеев А.А* Пути расширения технических возможностей оборудования для производства труб нефтегазового сортамента методом валковой формовки, Производство проката, №4-2014 – с. 24-25.
3. *Елин А.Ю., Соколова О.В.* Типы калибровки инструментов формовочных станов для производства прямошовных труб, Сборник докладов Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», 2015 – с. 348-349.
4. *Соколова О. В., Лепестов А.Е.* Новый метод определения длины стана при непрерывной валковой формовке, Производство проката, №3-2016 – с. 25-27.



## **Секция XI**

### **Электронные технологии в машиностроении**

Председатель: **Панфилов Юрий Васильевич**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-11

Ученый секретарь: **Бычков Сергей Павлович**  
старший преподаватель кафедры МТ-4

УДК 621.3.049.75

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ПРЕССОВАНИЯ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ЧИП-КОМПОНЕНТАМИ**

Абрамов Антон Андреевич

*Студент 4 курса**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана**Научный руководитель: Ю.С. Боброва, ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Тенденция к росту вычислительных мощностей при одновременном уменьшении габаритов электронных устройств приводит к необходимости увеличения плотности компонентов на печатных платах. Большое число поверхностно-монтируемых компонентов требует соответственной площади печатной платы (далее – ПП). Компромиссом между уменьшением площадей ПП и увеличением плотности монтажа является внутренний монтаж компонентов. Установка компонентов непосредственно в объем печатной платы дает возможность многократно увеличить количество компонентов, приходящихся на ту же площадь ПП.

Печатные платы с интегрированными компонентами уже находят широкое применение в такой требовательной к компактности устройств области электроники, как мобильная электроника (цифровые камеры, смартфоны и т.д.). В таких устройствах миниатюрность и работоспособность в течение прогнозируемого срока службы нивелирует важность ремонтпригодности устройства.

Выбранная технология базируется на установке компонентов в предварительно сформированные в диэлектрике базового материала полости с последующим напрессовыванием внешних слоев диэлектрика и заполнением пустот смолой препрега во время ее нахождения в гелеобразном состоянии (см. рис. 1).

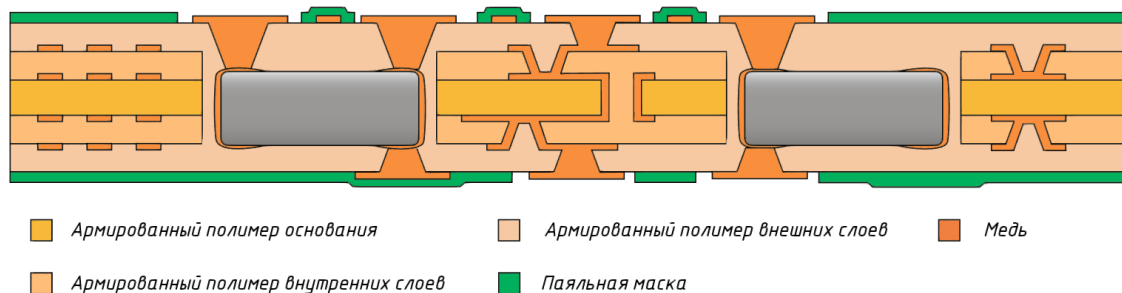


Рис. 1. Пример конструкции ПП с интегрированными компонентами в чип-корпусах

Чтобы обеспечить надежную фиксацию компонента необходимо создать условия, подходящие для вытекания смолы из препрега и заполнения зазоров между стенкой компонента и стенкой полости в процессе прессования. Для этого необходимо определить конструкторские и технологические параметры, влияющие на процесс.

С этой целью был проведен эксперимент, заключающийся в изготовлении опытного образца (рис. 2), конструкция которого основывалась на варьировании плотности расположения компонентов относительно друг друга, а также зазоров между стенкой компонентов и стенками полостей их посадочных мест.

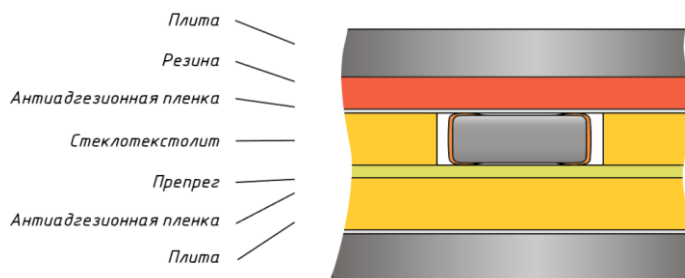


Рис. 2. Схема поперечного сечения испытательного образца перед прессованием

Интегрированные компоненты представлены резисторами типоразмера 1206 (3216 в метрической системе). Разработанная схема расположения компонентов на тестовой заготовке позволяет оценить степень влияния на затекание смолы таких параметров, как плотность монтажа компонентов, зазор между стенкой компонента и полостью, вид проводящего рисунка на нижележащем слое. Наличие препрега только с одной стороны компонента позволяет визуально оценить результат (см. рис. 3-4).

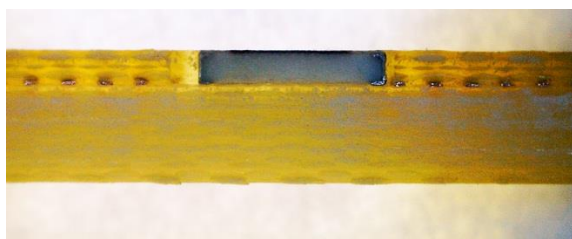


Рис. 3. Поперечное сечение образца

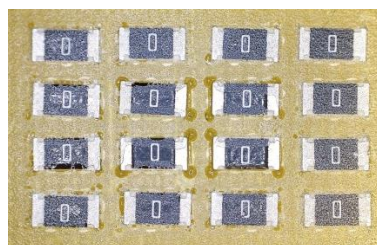


Рис.4. Часть образца (вид сверху)

Анализ полученного заполнения позволил выявить наиболее влияющие на процесс факторы и ранжировать их по степени влияния. Наиболее значимым параметром является плотность установки компонентов. Далее в порядке уменьшения значимости следуют вид нижележащего рельефа и зазор между стенкой полости и компонентом. В свете использования низкотекучего препрега, необходимого для лазерного сверления микропереходов, найденные зависимости следует учитывать на этапе проектирования изделия.

## Литература

1. Implementing Embedded Component from Concept-To-Manufacturing [Электронный ресурс]: Circuit Insight — Режим доступа: [http://www.circuitinsight.com/pdf/implementing\\_embedded\\_component\\_concept\\_to\\_manufacturing\\_ipc.pdf](http://www.circuitinsight.com/pdf/implementing_embedded_component_concept_to_manufacturing_ipc.pdf) (дата обращения: 14.03.18).
2. Embedded Component Technology Pioneering solutions [Электронный ресурс]: Würth Elektronik – Режим доступа: [https://www.wonline.com/web/fr/index.php/show/media/04\\_leiterplatte/2014\\_1/webinare\\_2/embedded\\_components/2014-04-01\\_Webinar\\_-\\_ECT\\_Pioneering\\_Solutions\\_V7\\_final\\_Print.pdf](https://www.wonline.com/web/fr/index.php/show/media/04_leiterplatte/2014_1/webinare_2/embedded_components/2014-04-01_Webinar_-_ECT_Pioneering_Solutions_V7_final_Print.pdf) (дата обращения: 14.03.18).
3. ECT Best Practice: How to handle a PCB project with embedded components? [Электронный ресурс]: Würth Elektronik – Режим доступа: [https://www.wonline.com/web/en/index.php/show/media/04\\_leiterplatte/2015\\_1/webinare\\_4/embedding/WE\\_CBT\\_ECT\\_How\\_to\\_handle\\_a\\_PCB\\_project\\_with\\_embedded\\_components.pdf](https://www.wonline.com/web/en/index.php/show/media/04_leiterplatte/2015_1/webinare_4/embedding/WE_CBT_ECT_How_to_handle_a_PCB_project_with_embedded_components.pdf) (дата обращения: 14.03.18).

**УДК 62-982****ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ЧЕРНОГО ПОКРЫТИЯ AlTiN НА УСТАНОВКЕ PLATIT π80 МЕТОДОМ ДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ**

Дмитрий Алексеевич Баклыков, Сергей Александрович Дубинин

*Студенты 4 курса , бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: К. М. Моисеев<sup>(1)</sup>, С. В. Сидорова<sup>(2)</sup>*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»<sup>(1)</sup>*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»<sup>(2)</sup>*

В настоящее время покрытие алюмонитрид титана (AlTiN) является одним из наиболее эффективных покрытий на режущих инструментах. При сохранении высоких физико-механических характеристик нитрида титана (TiN) покрытие AlTiN обладает дополнительным важным свойством: при нагревании на воздухе поверхность покрывается плотным слоем окиси алюминия, препятствующей дальнейшему окислению и адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом. В качестве декоративного покрытия используют покрытие со стехиометрическим составом  $Al_{0,67}Ti_{0,33}N$  [1].

Для нанесения покрытий AlTiN методом дугового испарения в вакууме предназначена установка PLATIT π80, на которой возможно нанесение различного вида покрытий: упрочняющих, износостойких, а также декоративных.

На состав покрытия AlTiN при нанесении методом дугового испарения оказывают влияние следующие параметры процесса: величина силы тока на катоде, давление рабочего газа и отрицательное напряжение смещения на подложке.

Скорость эрозии и давление рабочего газа преимущественно влияют на скорость осаждения покрытия, тогда как напряжение смещения в большей степени определяет его состав.[1–4].

Важно также учитывать особенности конкретной установки и подбирать параметры нанесения под нее. Для этого необходимо не только использовать теоретические данные, но и проводить отладку процесса формирования покрытия.

Нанесение покрытий производилось на стальные подложки размером 20x20 мм<sup>2</sup>, а также на элементы наручных часов (рисунок). Нанесение покрытия AlTiN производилось при разных параметрах процесса (таблица).

Таблица – Параметры процесса нанесения

№	I (Al), А	I (Ti), А	Uп, В	N <sub>2</sub> , sccm	T, °С
1	120	70	50	200	450
2	115	80	75	200	450
3	120	80	100	200	450
4	100	80	125	200	450

На рисунке представлен внешний вид покрытий, нанесенных при разных параметрах процесса, указанных в таблице.

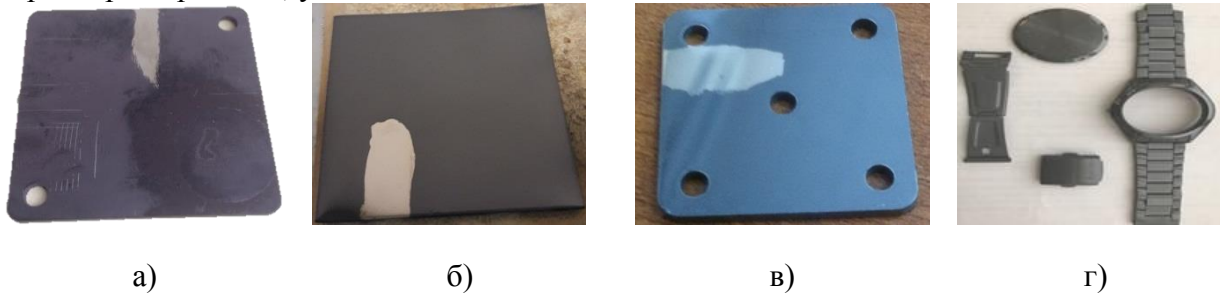


Рисунок – Внешний вид покрытия AlTiN, нанесенного при разных параметрах процесса:

а – №1; б – №2, в – №3; г – № 4

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что при уменьшении напряжения смещения, и увеличении силы тока на алюминиевом катоде цвет покрытия становится более темным, что свидетельствует о повышении количества алюминия в покрытии. Эти данные также подтверждаются и другими источниками [1].

При увеличении силы тока на катоде скорость эрозии материала возрастает. Присутствие химически активного газа (азота) приводит к образованию твердого нитридного покрытия, устойчивого к распылению, что снижает скорость формирования покрытия. При уменьшении напряжения смещения увеличивается процентное соотношение алюминия в составе покрытия AlTiN.

Интерес представляет дальнейшее исследование влияния параметров процесса формирования покрытия AlTiN на его цвет и основные характеристики (толщина, твердость, уровень адгезии и т.д.), в результате которого возможно получение зависимости геометрических и стехиометрических данных от параметров процесса нанесения.

#### Литература

1. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия/ *А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев*. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. 236 с
2. *Береговский В.В., Духопельников Д.В., Марахтанов М.К., Щуренкова С.А.* Сравнительный анализ капельной фазы в покрытиях, полученных методом вакуумно-дугового осаждения на установках типа НВВ и Platit π80 / Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. №4. С.29–32.
3. *Мубояджан С.А., Каблов Е.Н., Будиновский С.А.* Вакуумно-плазменная технология получения защитных покрытий из сложнолегированных сплавов// *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1995. №2. 12 с.
4. *Хороших В.М.* Эрозия катода и расход массы катодного материала в стационарной дуге низкого давления // *Физическая инженерия поверхности*. 2004. Т. 2. № 4. С. 184–199.

УДК 621.793.182

УДК 544.022.535

УДК 544.022.56

## **ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СЕЛЕКТИВНЫХ АБСОРБЕРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ С ИНВЕРСНОЙ СТРУКТУРОЙ**

Елена Николаевна Галаганова

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Панфилова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В настоящее время коллекторы солнечной энергии активно применяются в бытовых и производственных целях на территории всей России. Существует несколько способов получения поглощающих покрытий. Многослойное селективное поглощающее покрытие может применяться для изготовления абсорберов излучения, которые находят свое применение в солнечной энергетике, а также датчиках – пирометрах и дымомерах.

Известным материалом абсорбера солнечной энергии является монокристаллический кремний. Кремний используется в большинстве солнечных коллекторов и батарей, но его высокая стоимость ограничивает его повсеместное применение. Недостатком способа получения энергии из этого поглощающего покрытия является то, что кремний плохо улавливает излучение в синем диапазоне (440-485 нм) и совсем не поглощает ИК-излучение [1]. Современным методом формирования абсорберов, применяемых в солнечной энергетике, является способ получения покрытия вакуумным методом, состоящего из титана и оксинитрида титана. Покрытие предназначено для нанесения на внешнюю поверхность теплоприемной панели солнечного коллектора, преобразующего излучение Солнца в тепло. Недостатком такого абсорбера является ограниченность в спектре поглощения солнечного излучения – покрытие принимает лучи ближнего и среднего ИК – диапазона [2].

Технология получения поглощающих абсорберов перешла на новый уровень с использованием фотонно-кристаллических слоев в структуре покрытия. Фотонные кристаллы обладают структурой с периодически изменяющимся коэффициентом преломления. Это свойство обеспечивает получение запрещенной и разрешенной зоны в структуре абсорбера, а, значит, что фотон, прошедший через структуру поглощающей пленки, но не участвующий в энергетических превращениях коллектора, отразится обратно в поглощающий слой абсорбера. Это оптическое свойство фотонно-кристаллического слоя позволяет увеличить коэффициент поглощения покрытия [3].

Для повышения коэффициента поглощения абсорбера в представляемой работе предложено использовать опаловую пленку не только для создания фотонно-кристаллического отражателя, но и для получения ячеистой структуры принимающего слоя. Формирование инверсной структуры является заключительным этапом при изготовлении абсорбера солнечной энергии. Пористая структура на поверхности покрытия геометрически повышает коэффициент поглощения за счет увеличения площади абсорбера. Пустоты обеспечиваются травлением микросфер опаловой матрицы из слоя поглощающего покрытия после отделения абсорбера от подложки. Принимающий слой покрытия, имеющий конфигурацию полусфер, способен задерживать луч, так как,

отраженная от абсорбера часть луча, будет вновь уловлена полусферической стенкой приемника. Структура разрабатываемого покрытия изображена на рис.1.

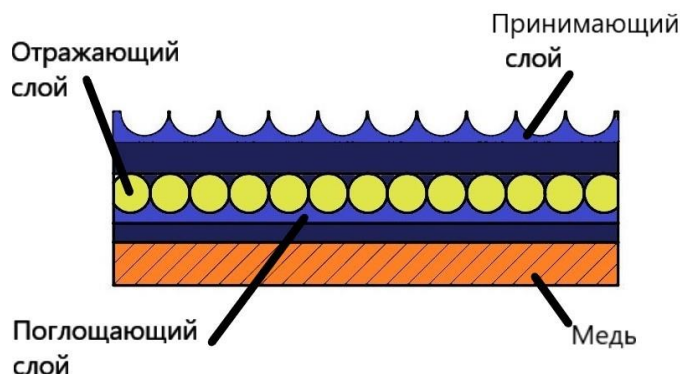


Рис.1. Структура абсорбера

Такой подход к получению многослойной инверсной структуры позволяет увеличить коэффициент поглощения, совершенствуя геометрическую и оптическую характеристики покрытия.

### Литература

1. *E.Schmich, S.Reber, J.Hees, F.Trenkle, N.Schillinger, G.Willeke.* Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells // Proc. 21st EPSEC and Exhibition, 4-8 September 2006, Dresden, pp.734-737.
2. *Кудрявцева, Е. Н.* Исследование покрытий на основе оксидов и оксинитридов титана комплексом методов / Е. Н. Кудрявцева, В. Ф. Пичугин, Н. Н. Никитенков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные. – 2012. – №.8. – С. 1-5.
3. *Доброносова А.А., Панфилова Е.В.* Исследование образцов опаловых пленок со сформированным на них массивом наночастиц. // Вакуумная техника, материалы и технология. Материалы XI Международной научно-технической конференции, М., 2016 – С. 152-157.

УДК 544.723.3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ АКУСТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ.

Алексей Владимирович Глущенко

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Современный технологический процесс откачки электровакуумных приборов (далее ЭВП) является наиболее длительным и энергозатратным процессом при их производстве. Ключевой особенностью процесса откачки является поэтапный нагрев корпуса ЭВП (не более 60-100 °С/ч) до температур, порядка 500-600 °С. Такой метод называется термодесорбцией. Время откачки индивидуально для каждого ЭВП и может достигать нескольких десятков часов. Возможности данного способа уже исчерпаны, так



как повышение температуры все же позволяет ускорить процесс обезгаживания материалов ЭВП, однако это приводит к нежелательным структурным изменениям металлов, приводящим к рекристаллизации и снижению прочности.

Причиной выделения, растворенного в толще металла газа, при термодесорбции является возрастающая, при повышении температуры, интенсивность колебаний частиц твердого тела, вызванная тепловыми колебаниями молекул, амплитуда колебаний которых увеличивается с повышением температуры, благодаря чему осевшие на поверхности молекулы газа выделяются в свободное пространство [1]. Наиболее эффективным и малозатратным способом ускорения откачки ЭВП может стать совмещение термического и нетермического способов десорбции, а именно акустически стимулированной термодесорбции.

Экспериментально установлено, что при дополнительном акустическом воздействии, во время процесса термодесорбции, значительно повышается скорость выделения молекул газа из толщи металла. Предположительно, причиной возросшей интенсивности газовыделения является дополнительная энергия, передаваемая акустическими колебаниями, являющимися упругими волнами малой интенсивности, кристаллической решетке металла. Результатом акустического воздействия являются механические возбуждения атомов металла, вызывающие дополнительное газовыделение.

Одним из основных материалов ЭВП является нержавеющая сталь. Ее поликристаллическая структура представляет собой зерна, разделенные межкристаллитными границами, ширина которых достигает десятков и сотен нанометров. Именно эти границы являются местом наибольшей концентрации растворенного в металле газа. Вызванные акустическими волнами колебания кристаллитов приводят к изменению ширины межкристаллических границ, активируя процессы диффузии газов к поверхности материала, где и происходит десорбция газа.

### **Литература**

1. Пипко А.П. *Основы вакуумной техники: Учебник для техникумов/ А.П. Пипко, В.Я. Плисковский, Б.И. Королев, В.И. Кузнецов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. -432с.*

### **УДК 62-982**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СВЕТОДИОДА УФ- СПЕКТРА С-ТИПА ИЗЛУЧЕНИЯ**

Сергей Александрович Дубинин

*Студент 4 курса бакалавриата*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С. В. Сидорова*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» (1)*

В настоящее время светодиоды УФ-спектра излучения используются в следующих областях науки и техники: медицина, обеззараживание воды и воздуха, криминалистика, полиграфия, химический анализ веществ, биотехнология. Практически во всех этих



областях используются токсичные, хрупкие и крупногабаритные лампы, которые еще и потребляют много энергии. В связи с этим данные области науки и техники требуют появления новых технологий, а именно УФ-светодиодов, которые смогут заменить устаревшие источники ультрафиолета.

На данный момент для производства светодиодов УФ-спектра используются следующие основные материалы:

- нитрид галлия,  $\lambda = 370$  [нм]
- нитрид индия-галлия,  $\lambda = 400$  [нм]
- нитрид алюминия-галлия,  $\lambda = 300-350$  [нм]

В результате проведенного анализа вариантов светодиодов УФ-спектра излучения было выявлено, что на данный момент нет светодиодов, которые могли бы обеспечить излучение, соответствующее ультрафиолету С-типа (200-280 нм), из-за чего в различных областях науки и техники до сих пор возможно использование лишь устаревших и токсичных ламп.

Для обеспечения длин волн УФ-спектра С-типа излучения возможно использование алмаза, нитрида бора, нитрида алюминия и нитрида алюминия-галлия. В таблице 1 приведено сравнение характеристик данных материалов.

Таблица 1. Сравнение характеристик материалов излучающего слоя

Материалы	Длина волны, [нм]	Ширина запрещенной зоны, [эВ]	Теплопроводность, $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}\right]$	Коэффициент теплового расширения, $\left[\frac{1}{\text{К}}\right]$
Алмаз	235	5,4	1500	$1,3 * 10^{-6}$
Нитрид бора	215	3,7	180	$4,3 * 10^{-6}$
Нитрид алюминия	210	6,2	200	$6 * 10^{-6}$
Нитрид алюминия-галлия	250	4,2	150	$5,8 * 10^{-6}$

На основании данного анализа было принято решение разработать принципиальную схему формирования чипа светодиода УФ-спектра излучения на базе AlN, который будет позволять обеспечить излучение с длиной волны  $\lambda=210$  [нм], наибольшую ширину запрещенной зоны более чем 6эВ и наибольший коэффициент теплового расширения[1]. Так же данный материал является наиболее простым в изготовлении, что существенно влияет на экономическую составляющую.

В начале этапа изготовления чипа светодиода требуется сформировать тонкопленочные структуры нитрида алюминия и оценить оптические характеристики полученных пленок[2]. В ходе проведения экспериментов были получены пленки нитрида алюминия толщиной 0,7 мкм (рис. 1).

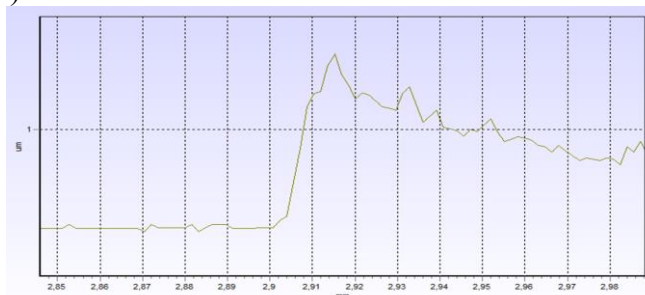


Рисунок 1. Измерение толщины покрытия AlN

Для оценки оптических свойств полученных покрытий были измерены коэффициенты пропускания (рис. 2) и отражения (рис. 3).

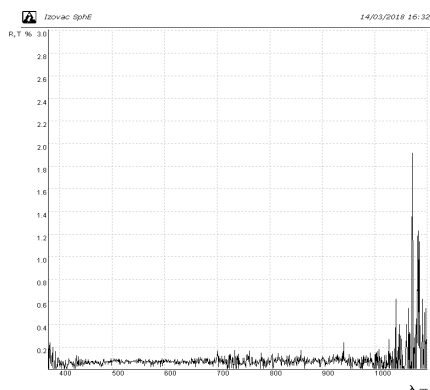


Рисунок 2. Зависимость коэффициента отражения от длины волны

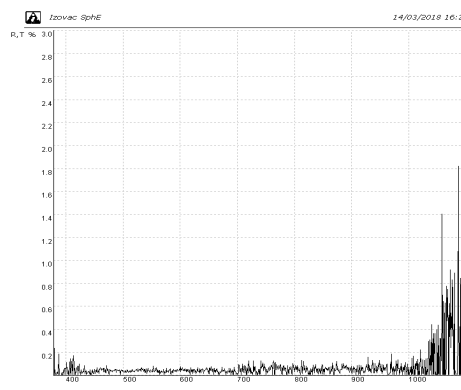


Рисунок 3. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны

На основании полученных данных исследования коэффициентов отражения и пропускания, делаем вывод, что при длинах волн 400-900 [нм] покрытие практически не отражает и не пропускает излучение. При длине волны 1000 [нм] коэффициент отражения равен 1,95%, а коэффициент пропускания 1,81%, что соответствует исследованиям других авторов [3].

### Литература

1. *Никитушкин И.В., Анненков Ю.М.*, Теплопроводная нанокерамика из нитрида алюминия и сопутствующие материалы, полученные методами высокоинтенсивных технологий. // «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»
2. *Панфилов Ю.В.* Нанесение тонких пленок в вакууме // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 76–80.
3. *М.В. Ермоленко, А.П. Достанко, Д.А. Голосов, С.М. Завадский*, Исследование оптических характеристик слоев AlN, полученных методами реактивного магнетронного и ионно-лучевого распыления. // Доклады БГУИР. 2015г.

**УДК 629.7.064.54**

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Владислав Алексеевич Дюбанов

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Панфилова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В последнее время наука и техника все больше и больше обращаются к материалам и структурам, не встречающимся в природе, которые обладают свойствами, отличными от свойств формирующих их компонентов. Отличным примером таких структур являются наноструктуры, имеющие в основе опаловую матрицу. Опал представляет собой

плотнупакованные наносферы кремнезема, размеры которых в различных образцах могут варьироваться от 200 до 600 нм[1].

Большой интерес представляет возможность заполнить пустоты, образованные в межсферическом пространстве материалами внедрения. Получаемая таким образом структура называется нанокомпозит, и в зависимости от внедряемого материала можно получать разные электромагнитные свойства, причем, в данных структурах наблюдаются наноразмерные эффекты[1].

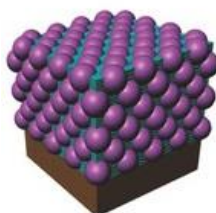


Рис.1. Нанокомпозит на основе опаловой матрицы.

Одним из перспективных направлений в использовании нанокомпозита является создание термоионных энергетических преобразователей (ТЭП). Данный прибор может находить применение в энергетике при преобразовании тепловой энергии сгорания, распада и излучения в электроэнергию[5]. Используя в качестве такого преобразователя нанокомпозит на основе опаловой матрицы можно добиться ощутимого повышения КПД и отсутствия экологических загрязнений вследствие непосредственного преобразования одного вида энергии в другой.

Основным параметром качества ТЭП является добротность  $ZT$ , которая зависит от коэффициента Зеебека, электропроводности, температуры материала и обратно пропорциональна теплопроводности материала.

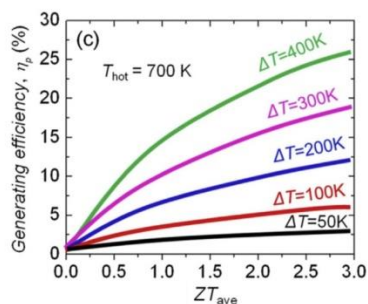


Рис.2.Кривые зависимости КПД от среднего коэффициента  $ZT$  [2].

Наиболее перспективным методом повышения коэффициента  $ZT$  является подавление средней длины пробега для фононов, не затрагивая при этом поведение электронов. Данное условие возможно выполнить, создав нанокомпозит с размером элемента, меньшим длины свободного пробега, обеспечивая тем самым запираания фонона [6], а для этого процент заполнения полостей матрицы должен быть велик.

Наиболее привлекательным методом формирования равномерно заполненной структуры является электрохимическое осаждение[3,4], при котором время формирования одного слоя сферических частиц матрицы и заполнения пустот материалом внедрения равны.

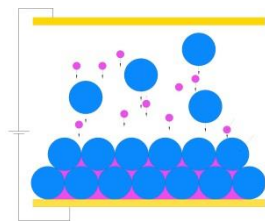


Рис.3. Электрохимическое формирование нанокompозита.

В рамках отработки теоретически обоснованной авторами [7] возможности получения нанокompозита электрохимическим способом будут получены оптимальные параметры для формирования структуры и выбраны подходящие материалы.

### Литература

1. *Самойлович, М.И.* Исследование свойств и перспективы применения трехмерных нанокompозитов на основе упорядоченных упаковок наносфер кремнезема / М.И. Самойлович [и др.]
2. Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity / *Xiao Zhang, Li-Dong Zhao* // Journal of Materiomics – 2015.
3. *Трегулов, В.В.* Исследование гетероструктур CdS/Si(p), изготовленных методом гидрoхимического осаждения CdS
4. *Батенков, В.А.* Электрохимия полупроводников: учебное пособие / В.А. Батенков.–2-е изд., доп.
5. Nanostructured thermoelectrics / *Paothep Pichanusakorn, Prabhakar Bandaru* // Material Science and Engineering – 2010.
6. Уроки наноэлектроники. 4. Термоэлектрические явления в концепции «снизу – вверх» / *Ю.А. Кругляк, А.В. Глушков* // Вестник Одесского Государственного Экологического Университета – 2013.
7. Разработка электрохимического способа получения метаматериалов. *Дюбанов В.А., Езенкова Д.А., Мозер К.В., 2018*

УДК 621.389

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОПАЛОВОЙ МАТРИЦЫ

Дарья Андреевна Езенкова

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Панфилова*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Создание новых материалов – это одна из главных отраслей науки и техники. На данный момент актуальным считается разработка материалов с заранее заданными свойствами. Изменяя размер и форму фаз наноструктур, материалам можно придать

совершенно новые свойства и характеристики, которых лишены существующие материалы.

Перспективными материалами на основе опаловых матриц являются 3D – наноконпозиты (рис. 1). 3D – наноконпозит - это материал, состоящий из опаловой матрицы, в пустоты которой помещается материал внедрения. Уникальность данных структур состоит в том, что совмещение опаловой матрицы и материала внедрения приводит к резкому изменению свойств конечного материала.

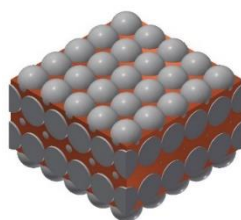


Рис. 1 Структура 3D – наноконпозита

Важными характеристиками при создании экранирующих структур является показатель преломления, а также оптимальная толщина функциональных слоёв, которые выбираются в зависимости от необходимого диапазона экранирования.

Экранирование может осуществляться посредством отражения или же поглощения электромагнитных волн. Можно выделить два механизма экранирования: на основе брэгговской дифракции, или с использованием резонансных явлений.

Из всего многообразия материалов на основе опаловых матриц можно выделить три группы структур, которые обладают необходимыми свойствами для создания экранирующих материалов.

Таблица 1.

Тип структуры	Диапазон экран-я	Механизм экран-я	Способ получения
Фотонный кристалл	Видимый+ближний ИК	На основе брэгговской дифракции	Литография, голография, технологии на основе самооргани-зующихся структур [17].
Тонкая пленка на опале	Видимый+ближний ИК	На основе брэгговской дифракции	Опаловая матрица: технологии самооргани-зующихся структур, PVD Плѐнки: PVD методы (преимущест-венно магнетронное нанесение)
3D- наноконпозит	Видимый – микроволновой СВЧ	При помощи резонансных явлений	Метод пропитки, вакуумные методы нанесения, электрохими-ческие методы

Для формирования низкоразмерных структур с высоким аспектным соотношением или же толстые, толщиной более 2 мкм, лучше всего подходит метод электрохимического осаждения. Было выявлено, что главным условием формирования нанокompозита является равенство времени осаждения одного слоя сферических частиц матрицы и времени формирования слоя материала внедрения толщиной равной диаметру сферических частиц.

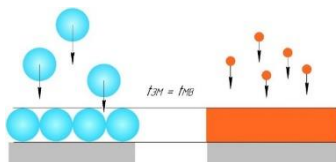


Рис. 2 Условие формирования нанокompозита

В рамках дальнейшей работы будет проведено исследование по выявлению оптимальных режимов формирования покрытий с отражающими свойствами методами электрохимического осаждения.

### Литература:

- 1) Оптические свойства наноструктур «тонкая плёнка – опаловая матрица» / Булыгина Е.В. [и др.] //
- 2) Кондратьев Д. Использование наноструктурных материалов для повышения надёжности РЭА [Текст] / Кондратьев Д., Журавский В. // Наноиндустрия. – 2008 – №4 – с. 14 – 18
- 3) EMI Shielding for Medical devices and Military electronics Elasto Proxy Inc., 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10851> (дата обращения 01.03.18)
- 4) Молотков, Н.Я. Оптика и квазиоптика СВЧ: Учебное пособие / Н.Я. Молотков – Изд-во ТГТУ, 2009
- 5) Photonic Crystal – Based Optical Devices. Paul V Braun, 2004
- 6) Печень Т.М. Моделирование экранирующих покрытий со способностью интерференционного гашения отражённого излучения ультрафиолетового диапазона длин волн [Текст]. / Печень Т.М., Прудник А.М. // Доклады БГУИР – 2016 – №1 – с. 26 – 31
- 7) Самойлович М.И. Микроволновые свойства 3D – нанокompозитных металлодиэлектрических наноматериалов. Самойлович М.И. [и др.] // Наука и технологии в промышленности – 2011 – №4 – с. 89 – 98

### УДК 539.23

#### ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ФОТОННОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЫТЯГИВАНИЯ

Роман Михайлович Жуков,

Студент 4 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Е.В. Панфилова,  
Кандидат наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Для получения равномерных фотоннокристаллических пленок используется лабораторный стенд для вертикального вытягивания (рис. 1).

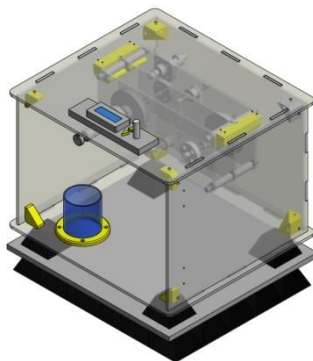


Рис. 1. Стенд вертикального вытягивания

Стенд состоит из виброзащиты и редуктора. Виброзащита 3-ух уровневая. Первый уровень состоит из 36 пирамидок пенополиуритана (ППУ) и противня наполненный кварцевым песком весом 10 кг, что является жесткой опорой. Второй уровень состоит из 5 пирамидок ППУ – мягкая опора. Третий уровень состоит из короба на потолок которого вешают редуктор. Первый уровень гасит высокие и средние вибрации, а второй уровень гасит низкие вибрации. Вибрации не желательны для образования пленок, так как влияют на ее равномерность. Редуктор двухступенчатый с передаточным отношением 1/64 [1]. Шаговый двигатель, который совершает 200 шагов/оборот обеспечивает работу редуктора. Микроконтроллер управляет двигателем через драйвер (рис. 2). Драйвер обеспечивает плавность движения входного вала, так как он экстраполирует и делит каждый шаг на 256 шагов и обеспечивает бесшумную работу двигателя.

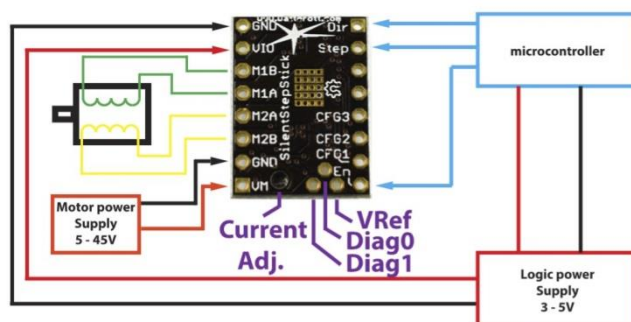


Рис. 2. Схема подключения двигателя, драйвера и микроконтроллера

Оптимальная скорость для вертикального вытягивания варьируется в диапазоне от 1,1 мм/мин до 3,2 мм/мин [2]. Данный двигатель в сочетании с драйвером обеспечивает скорость выходного вала в диапазоне от 0,05 мм/мин до 3 мм/мин. Для выявления соответствия рассчитанной скорости вытягивания и получаемой на практике при скоростях вытягивания 1,1 мм/мин; 2 мм/мин; 3 мм/мин, высоте вытягивания равной 30 мм и фиксированном времени вытягивания была произведена калибровка и уточнены значения параметров, вводимых в программу; Затем были осуществлены экспериментальные исследования зависимости геометрических параметров поверхности и оптических характеристик получаемых пленок от скорости вытягивания, величина которой варьировалась от 0,1 мм/мин до 0,8 мм/мин. Результаты исследования пленок на атомно-силовом микроскопе и спектрофотометре представлены на рис 3.



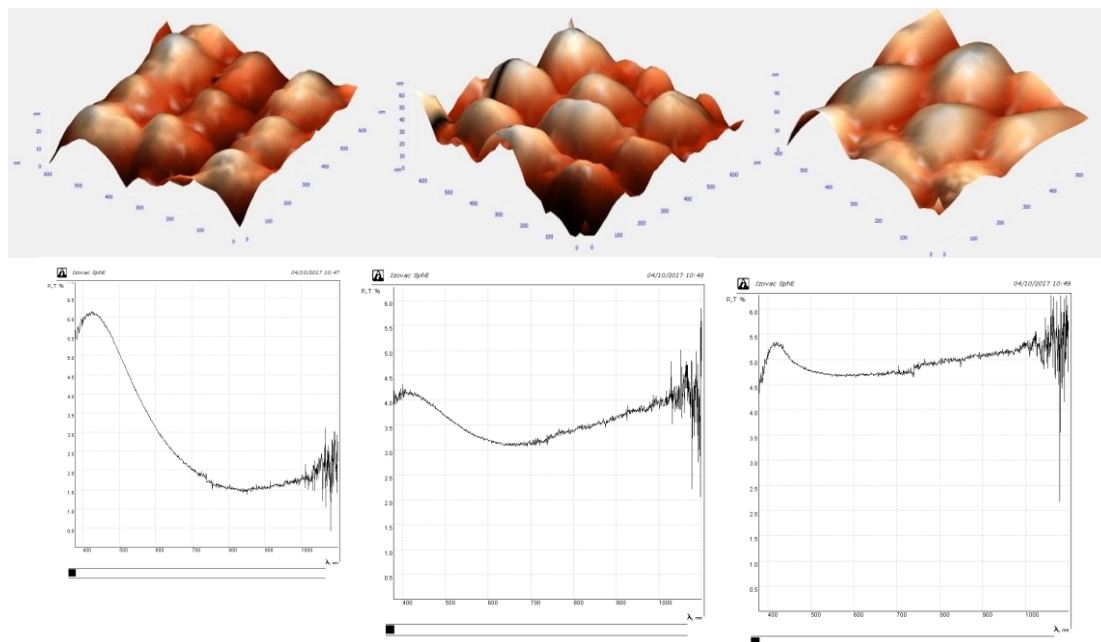


Рис. 3. Сканы АСМ и спектрофотометра для скоростей 0,1 мм/мин, 0,4 мм/мин, 0,8 мм/мин

Дальнейшие работы в этой области будут посвящены повышению воспроизводимости свойств и уменьшению дефектности формируемых пленок.

#### Литература

1. Колесник В.Л. Разработка конструкции механизма вытягивания опаловых структур: отчет по конструкторско-технологическому практикуму. С. 8-15
2. Беседина К.Н. Разработка методов управляемого формирования и исследование тонкопленочных опаловых структур: дис. к.т.н. МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 53.084.823

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ РАМЫ ДЛЯ ВАКУУМНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ВУП-11М

Данила Дмитриевич Зыков<sup>(1)</sup>, Давид Геворгович Акопян<sup>(2)</sup>, Максим Юрьевич Акишин<sup>(3)</sup>

Студенты 3 курса<sup>(1,2)</sup>, студент 4 курса<sup>(3)</sup>,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

В статье описывается процесс проектирования несущей рамы для установки ВУП-11М. Предложены два варианта исполнения из стального и алюминиевого профиля с пазом. Приведены критерии сравнения предложенных вариантов, и на их основании сделан выбор наиболее подходящей конструкции. Проведен расчет, и представлен анализ напряжений конструкции рамы. По результатам проектирования выполнена детализировка для дальнейшего изготовления на производстве.



Вакуумный универсальный пост (ВУП-11М) относится к УВН периодического действия и предназначен для нанесения широкого спектра тонкопленочных покрытий. Данное оборудование является результатом модернизации прототипа и позволяет формировать различные тонкопленочные структуры в едином вакуумном цикле [1].

На данный момент на установке проводится большое количество экспериментов. Установка в рамках лаборатории, используется в различных проектах, таких как магнетронное нанесение пленок ИТО, нанесение ультратонких сверхпроводящих пленок WSi, также ведется работа по автоматизации ВУП-11М.

Целью проектирования рамы является улучшение и облегчение конструкции, усовершенствование и придание эстетического вида раме установки ВУП-11М для дальнейшего использования.

Рассмотрены критерии оценки и сравнения профилей. Критерии делятся на несколько групп: физические свойства (жесткость, прочность, долговечность), химические свойства (коррозия и изменение структуры со временем), обрабатываемость, простота сборки, внесение изменений в конструкцию камеры и столешницы, эргономичность, вес, цена. Исходя из вышеперечисленных критериев, под наши цели лучше подойдет алюминиевый профиль.

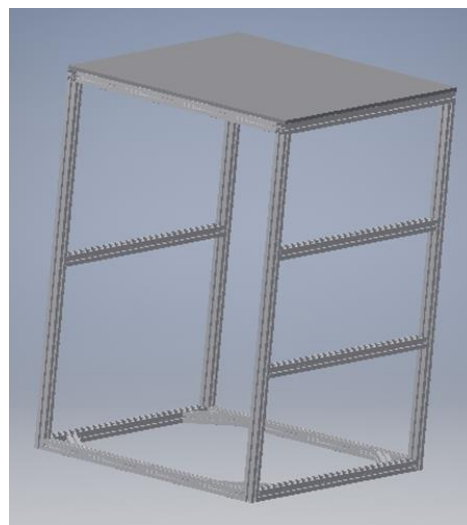
Конструкционный станочный алюминиевый профиль поставляется; с использованием ГОСТированного размера и формы, с разным количеством пазов (1,2 3, и т.д.). Преимуществами профиля являются: возможность реализации технических решений любой сложности, простота и оперативность монтажа изделий без подгонки и последующей отделки, минимальные нагрузки на несущие конструкции, снижение материалоемкости, устойчивость к коррозии и УФ-излучению, долговечность и надёжность, высокие декоративные качества.

Расчет конструкции рамы на смещение и напряжения проводился в программе Autodesk Inventor, которая производит расчет методом конечных элементов [2]. В программе созданы варианты рамы, произведен расчет и анализ полученных результатов.

Для рамы выбран профиль с 4-мя пазами размером 30x30 мм. Создана 3D модель установки (рисунок. 1, а), в программе Autodesk Inventor. Отдельно создана 3D модель рамы со столешницей (рисунок. 1, б).



(а)



(б)

Рисунок. 1. Внешний вид: а – 3D ВУП-11М; б – рама со столешницей

Проведен анализ напряжений. Расчет проводился с запасом (коэффициент 1,34), сила, приложенная на столешницу, была равна  $F=2000$  Н. После проведения анализа получены значения осевых смещения по осям X (0,1473 мм) и Y (0,158 мм). Полученное значение осевого смещения очень мало. Из расчета напряжений и значений смещения можно сделать вывод, что спроектированная несущая рама выдерживает нагрузку.

В ходе проведенного исследования проанализированы два варианта реализации рамы из стального и алюминиевого профильного. Сформирован список критериев оценки, который показал преимущества использования алюминиевого профиля. Создана 3D модель установки и отдельно рама со столешницей. С помощью программы проведен расчет напряжений и осевой деформации, на основе которого сделан вывод, что рама, выполненная из конструкционного станочного алюминиевого профиля 30x30 мм – подходит для наших задач и отвечает нашим критериям.

На основании спроектированной модели составлена спецификация и подобраны все детали для сборки рамы для установки ВУП-11М. Следующим этапом будет отправление спецификации на производство для изготовления комплектующих рамы. После получения материалов будет проведена сборка рамы.

#### **Литература**

1. *Моисеев, К.М.* Многопозиционные вакуумные технологические установки // Наноинженерия. 2014. № 8. С. 18–21.
2. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов: учебник для втузов. - 10-е изд., М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 590 с.

#### **УДК 539.23**

### **ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МИКРОСФЕР ПОЛИСТИРОЛА И ДИОКСИДА КРЕМНИЯ**

Артем Рустамович Ибрагимов

*Студент 4 курса,*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е. В. Панфилова,*

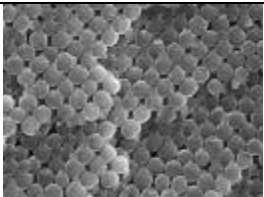
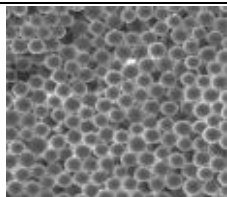
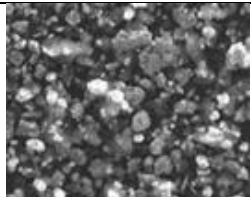
*кандидат наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Фотонные кристаллы (ФК) представляют большой интерес для изучения, так как являются материалами, способными управлять световыми потоками. Данная способность объясняется наличием фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ), запрещающей распространение света определенной частоты или длины волны в одном или во всех направлениях. В связи с тем, что структура данных кристаллов сходна со структурой природных опалов, их называют синтетическими опалами. Одним из наиболее распространенных примеров фотонных кристаллов являются коллоидные кристаллы, состоящие из плотноупакованных частиц субмикронного размера [1]. Так как от расположения ФЗЗ зависит область применения изделий, основным элементом которых является ФК, возникает необходимость контроля процесса формирования тонкопленочной периодической структуры. На расположение ФЗЗ влияют различные факторы,

некоторыми из которых являются диаметр используемых частиц, их форма, а также упорядоченность и расположение в опаловой матрице. Все эти факторы зависят от метода формирования ФК и используемого материала. Основными методами получения опаловых структур являются: седиментация, метод вертикального вытягивания и метод электрофореза.

Для получения тонких пленок, обладающих необходимыми фотонными свойствами, в основном применяются монодисперсные коллоидные сферы, диаметр которых варьируется от 10 нм до 1 мкм. Так как контроль размера сфер в таких масштабах является сложной задачей, получают его из ограниченного круга веществ. Органическими материалами являются полистирольный монодисперсный латекс (PS) и полиметилметакрилат (PMMA). Неорганическим – диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Для корректной работы изделий в основе которых лежат ФК, необходимо чтобы диапазон отклонения ФЗЗ не превышал 1%. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики приведенных материалов.

Таблица 1. Анализ материалов ФК

Материал	Кремнезём ( $\text{SiO}_2$ )	Полистирол (PS)	Полиметилметакрилат (PMMA)
Структура			
Неоднородность диаметра частиц	30%	1%	1%
Неоднородность формы частиц	+	+	-

Наиболее распространенным и изученным методом получения ФК является метод вертикального вытягивания из коллоидного раствора. Принцип метода заключается в следующем: частицы перемещаются сквозь раствор к области мениска, затем формируются гексагональные слои частиц. Частицы в растворе, которые формируют матрицы, принесены туда потоком суспензии. При испарении раствора возникает поток частиц в сторону мениска, формирование начинается с одной частицы, осевшей на поверхность подложки, при этом на неё действуют сила тяжести, в то же время частица скользит по поверхности, останавливаемая силой трения и капиллярной силой с учетом взаимного притяжения и отталкивания с другими частицами, приближающимися к подложке [2]. Далее микросферы оседают в слои на подложке. Схематично метод изображён на рисунке 1.

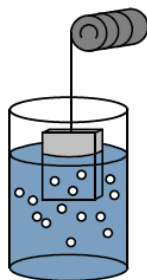
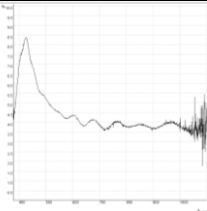
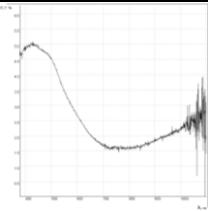
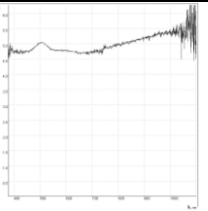


Рис. 1. Схема нанесения методом вертикального вытягивания

Экспериментальным путём была доказана зависимость расположения ФЗЗ и высоты рельефа, получаемой тонкопленочной структуры, от скорости вытягивания. В качестве материала использовался диоксид кремния. При увеличении скорости

вытягивания микросферы вытягиваются, при этом ФЗЗ сдвигается в сторону ИК-области спектра, а интенсивность отражения уменьшается. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость расположения ФЗЗ от скорости вытягивания

Скорость вытягивания	0,1 мм/мин	0,4 мм/мин	0,8 мм/мин
Показания спектрофотометра			
Расположение ФЗЗ	420 нм	430 нм	505 нм

Полученные результаты могут быть использованы в фотонике, сенсорике и оптоэлектронике.

### Литература

1. Xia Y., Gates B., Yin Y., Lu Y. *Monodispersed Colloidal Spheres: Old Materials with New Applications*. *Advanced Materials*. – 2000. - №10. – p. 693-713
2. *Беседина К.Н.* Разработка методов управляемого формирования и исследование тонкопленочных опаловых наноструктур: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2014. 63 с.

УДК 62-752.2, 62-752.6.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА НА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ДЕМПФЕРВ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Дарья Александровна Иванова<sup>(1)</sup>, Анастасия Павловна Ротарь<sup>(1)</sup>, Иван Владимирович Макеев<sup>(2)</sup>

Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 4 курса<sup>(2)</sup>, бакалавриат  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: А.М. Базиненков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Вакуумное технологическое оборудование, исследовательские и прецизионные установки подвергаются целому ряду внешних возмущений, в том числе вибрационных, которые могут негативно сказываться на технологическом процессе и непосредственно влиять на качество изготавливаемой продукции или точность проводимых исследований. [1].

Для уменьшения колебаний, вызванных внешними возмущениями и передаваемыми на защищаемый объект, предлагается использовать платформу виброизоляции на основе магнитоэологических (МР) эластомеров. [2]. МР эластомеры - композитные соединения на основе немагнитной матрицы силиконового каучука, с распределенными в ней магнитомягкими частицами микронного размера. Активная и

полуактивная виброизоляция обеспечивается четырьмя демпферами, с МР эластомерами в качестве рабочих тел, за счёт возбуждения в них колебаний, противоположным внешним по фазе. [3].

Объектом исследования в данной работе стал один из демпферов, основной для которого является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). Испытания демпфера проводились на вибрационной электродинамической установке при постоянном размахе колебаний 250 мкм при изменении частоты в ходе эксперимента от 15 до 200 Гц.

Для определения АЧХ использовались два датчика, одним из которых измерялись значения ускорений, создаваемых вибрационной установкой, а второй – ускорения на подвижной части демпфера. Отношением полученных ускорений на основании демпфера и на его подвижной части является коэффициент передачи амплитуды виброперемещений (КПАВ).

При обработке данных, полученных в ходе эксперимента, была получена зависимость изменения КПАВ в зависимости от управляющей силы тока на катушке демпфера, которая варьировалась в диапазоне от 0 до 0,8 А с шагом 0,1 А. Выявлено, что при увеличении управляющей силы тока до максимального значения КПАВ снижается от 2,61 до 2,36, а резонансная частота смещается от 65,24 Гц в область более низких частот до значения 61,09 Гц.

В ходе модернизации демпферов возникла необходимость добавления в конструкцию демпфера компенсирующего элемента в виде алюминиевого кольца. Испытания на вибрационной установке были проведены повторно с теми же характеристиками, чтобы изучить влияние кольца на амплитудно-частотную характеристику демпфера.

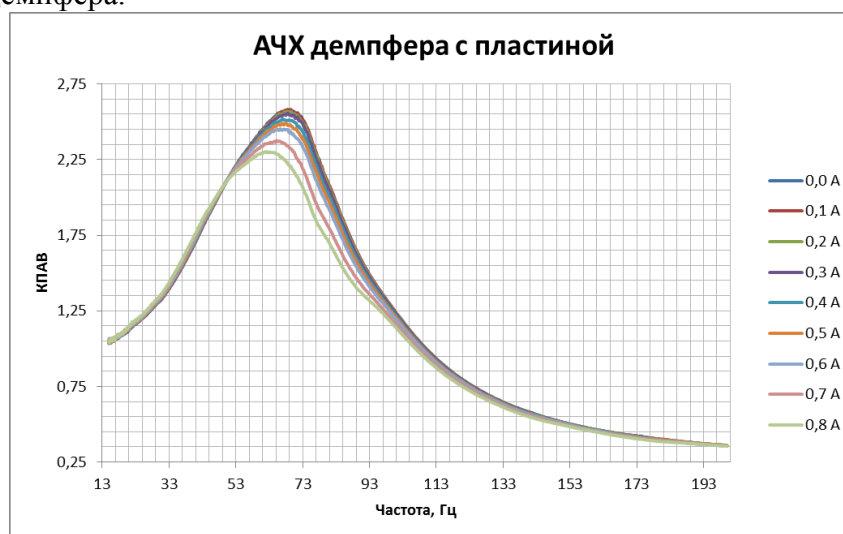


Рис.1 Зависимость КПАВ от частоты после модернизации.

Выявлено, что внесенные конструктивные изменения незначительно повлияли на КПАВ, а резонансная частота на максимальном управляющем токе уменьшилась до значения 62,02 Гц.

## Литература

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). —М.: Машиностроение, 1981. — Т. 6. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К. В. Фролова. 1981,456 с.
2. Михайлов В.П., Товмаченко Д.К., Базиненков А.М., Степанов Г.В. Характеристики платформы для активной виброизоляции на основе магнитоэологических эластомеров // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2016. - № 12. - С. 51-57.

3. Михайлов В.П., Базиненков А.М., Акимов И.Ю. Системы активной виброизоляции реологического типа. Высокие технологии в промышленности России.// Матер. XIII Между - нар. науч. -технич. конф. Москва, 2007, С. 150–158.

**УДК 621.793.1**

## **ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ В ВАКУУМЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Анастасия Александровна Исаева

*Студентка 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: С. В. Сидорова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

Тонкопленочные покрытия используются во многих областях науки и техники. В настоящее время заинтересованность в островковых тонких пленках (ОТП) и островковых наноструктурах (ОНС) постоянно растет ввиду уменьшения размеров устройств и создания новых приборов.

Например, ОТП увеличивают прозрачность поверхностей стекол оптических приборов космических аппаратов. Используются ОНС для создания экранов цифровых и буквенно-цифровых индикаторов; производства элементов памяти.

Кроме того, тонкопленочные покрытия используются в газовых сенсорах для увеличения их чувствительности. А изменяя газочувствительный слой и рабочую температуру, можно управлять селективностью и чувствительностью сенсора к различным компонентам.

К преимуществам приборов и устройств на основе ОТП следует отнести миниатюризацию, снижение энергопотребления и увеличение быстродействия.

Для нанесения тонких пленок использовали малогабаритную модульную вакуумную установку УВН-1М (рис.1), предназначенную для исследовательских работ в области формирования наноструктурированных пленок в вакууме.

В рабочей камере 1 Т-образной формы используются четыре технологических модуля 3, позволяющие наносить тонкопленочные покрытия разными методами. За процессом можно наблюдать через смотровое окно 2. Вакуумная система оснащена механическим спиральным 4 и турбомолекулярным 5 насосами, создающими безмасляный вакуум.

Нанесение тонких пленок меди проводили методом резистивного термического испарения в вакууме (рис.2). Модуль плотно прилегает к вакуумной камере благодаря уплотнительному кольцу 1 на фланце 2, на котором закреплены два токовода 3, установленные на изоляторах 4. Прижимные шайба 5 и винт 6 удерживают испаритель (спираль) 7 между тоководами. Заслонка 8 вращается с помощью ручного ввода вращения заслонки 9.

В вакуумной камере 1 (рис.3) происходит напыление тонкой пленки. К подложкодержателю 2 прикреплена подложка 3, на которую будет осаждаться испаряемый материал 4 (в данном случае – медь). Этот материал находится на испарителе



5, который нагревается посредством резистивного нагрева через тоководы 6, находящиеся на расстоянии  $h$  (мм) от подложкодержателя. Процесс нанесения происходит в течение времени  $t$  (с) и под давлением  $P$  (Па).



Рис.1 Вакуумная установка УВН-1М

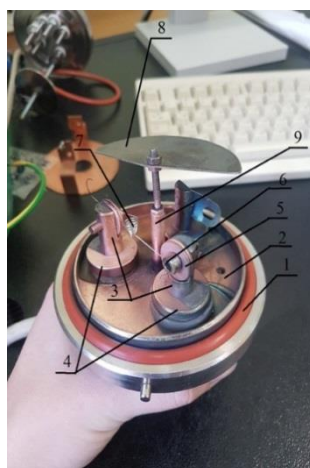


Рис.2 Модуль для термического испарения

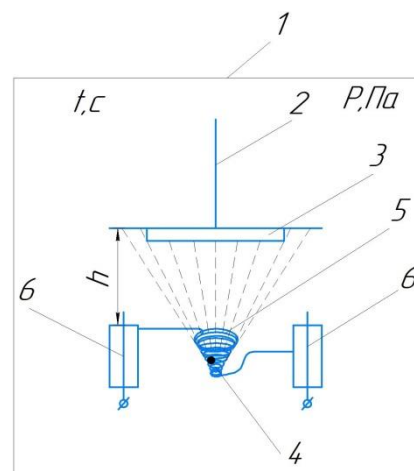


Рис. 3 Схема эксперимента

Интерес представляет обработка режимов формирования тонкопленочных покрытий на установке УВН-1М. Поэтому целью проведения экспериментальных исследований является создание математической модели зависимости толщины тонкой пленки от параметров нанесения (времени и скорости осаждения материала, которая регулируется расстоянием источник–подложка).

Измерение толщин пленок проводили на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NT-MDT в контактном режиме зондом CSG01.

В результате проведения и обработки результатов экспериментов получена математическая модель:  $Y = 400 + 291,5X_2 - 88,5X_1X_2$ , где  $X_1$ - расстояние,  $X_2$ - время.

В результате анализа полученных данных эксперименты оказались воспроизводимы, адекватность модели подтвердилась.

Отметим, что фактор расстояния оказался незначимым, вероятно, из-за малого интервала варьирования. Необходимо понизить нижнюю границу. Существенное влияние оказал фактор времени: при его увеличении толщина пленки увеличивается, что сходится с физической стороной рассмотрения полученной математической модели. Влияние взаимодействия факторов также значимо, так как варьируя двумя параметрами, можно оказать влияние на выходной параметр – толщину пленки.

Рассмотрены области применения ОНС и ОТП, преимущества приборов и устройств на их основе.

Проведены экспериментальные исследования по нанесению тонкопленочных покрытий меди на установке УВН-1М. Толщины тонкопленочных покрытий измеряли на АСМ. В результате обработки результатов экспериментов получена адекватная математическая модель, описывающая зависимость толщины тонкопленочного покрытия от параметров процесса нанесения.

В дальнейшей работе планируется организация стенда по контролю роста ОТП в процессе формирования и уточнение математической модели зависимости определяющего размера ОТП от технологических параметров.

### Литература

1. Сидорова С.В. Расчет технологических режимов и выбор параметров оборудования для формирования островковых тонких пленок в вакууме. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Москва, 2016. 19 с.

2. *Чиров А.А., Белякова Н.Г.* Изменение прозрачности тонких пленок цезия на поверхности стекла оптических приборов космического аппарата // Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования. 2013. No. 12. С.98.

**УДК 621.7**

**ОСОБЕННОСТИ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОГО ИМПЛАНТАЦИОННОГО МОДУЛЯ  
ФОКУСИРОВАННЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ**

Леонид Леонидович Картушин

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю. В. Панфилов,*

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.*

Модули с колоннами Фокусированных Ионных Пучков (модули ФИП) относятся к числу основных модулей платформы НАНОФАБ 100 и предназначены для проведения технологических операций с применением Фокусированных Ионных Пучков, в том числе операций локального распыления, резки, визуализации наноэлементов и наноструктур, ионной имплантации, локального роста, очистки поверхности п/п подложек и пр.

Высокая степень автоматизации и координатно-связанная прецизионная система позиционирования подложек в модулях ФИП и СЗМ дают возможность микронного совмещения участков образца, обрабатываемых ионным пучком в модулях ФИП и исследуемых либо обрабатываемых методами зондовой микроскопии в модулях СЗМ. Совмещение в одной камере сканирующего электронного микроскопа и технологии ФИП позволяет получать информацию об объектах в процессе их *in situ* модификации осаждением или удалением материала.

В основе принципа действия модуля ФИП Импл лежит метод внедрения примесных атомов — высокоэффективный метод управления свойствами полупроводников. К его преимуществам относятся высокая воспроизводимость, локальность и точность имплантации, а также возможность введения в заданных количествах практически любой примеси. Благодаря легированию образца пучками ускоренных частиц, можно целенаправленно изменять механические, химические, оптические, коррозионные и другие поверхностные свойства материалов.

Характерный размер получаемого с помощью установки пятна на поверхности образца зависит от значения тока и энергии ионного пучка. В оптимальном режиме ток эмиссии ионов составляет от 1 пА до 40 нА. При токе пучка 1 пА и при энергии 30 кэВ размер пятна — 10 нм.

Масс-фильтр Вина – идеальное средство для измерения массового состава ионного пучка и последующей сепарации. Фильтр дает возможность использования многокомпонентных ионных источников (AuSi, AuGe, AuGeSi, CoNd, CoGe, ErNi,



ErFeNiCr, NiB, GaIn, BPt, AuBeSi, AuFeGe, AuGeMn), отделяя и пропуская ионы с нужной массой, и задерживая остальные. В результате применения различных ионных источников можно получить широкий спектр пучков не только для травления, но и для имплантации.

Ключевой элемент модуля — колонна ФИП. Колонна ФИП обеспечивает сверхвысокую разрешающую способность (разрешение – 7 нм при энергии пучка 30 кэВ), максимальную плотность тока и эффективную работу.

Модифицируя поверхность образца фокусированным ионным пучком можно одновременно получать изображение поверхности с помощью электронного пучка.

В состав платформы НАНОФАБ 100 входят три типа модулей ФИП: СВВ модуль ФИП нанообработки, модуль ФИП ГИС, снабженный системой ввода паров элементо-органических соединений, и модуль нанолокальной ионной имплантации ФИП Имп. Таким образом, модули ФИП обеспечивают практически все значимые “top-down” и “bottom-up” ФИП технологии.

### Литература

1. Агеев О. А., Коломийцев А. С., Коноплев Б. Г. Формирование наноразмерных структур на кремниевой подложке методом фокусированных ионных пучков. // НТ-МДТ Спектрум Инструментс – лидер в приборостроении для нанотехнологий [[http://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/publications/2011/ageev\\_3.pdf](http://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/publications/2011/ageev_3.pdf) ]
2. Нан Яо, Чжун Лин Ван, Справочник по микроскопии для нанотехнологии - М.: Научный мир, 2011, стр.256-259
3. Группа компаний НТ-МДТ. Нанотехнологические комплексы на базе платформы «Нанофаб 100». // РОССИЙСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ - [[http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/nanofab\\_100.pdf](http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/nanofab_100.pdf)]

УДК 621.357.53

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Давид Александрович Мануков <sup>(1)</sup>, Руслан Игоревич Фёдоров <sup>(2)</sup>

Студент 3 курса <sup>(1)</sup>, магистрант 1 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,  
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Металлизация диэлектриков является важным этапом в технологии изготовления печатных плат (далее – ПП), а также в технологии создания объемных схем на пластиках (далее – ОСП). Условно процесс металлизации можно разделить на два этапа: создание токопроводящего слоя (далее – ТС) на поверхности диэлектрика (стеклотекстолита, пластика, керамики и т.д.) и электролитическое осаждение меди на этот слой.

Возможны три способа нанесения ТС на поверхность диэлектрической подложки [1]:

- погружением подложек в раствор;
- накаткой раствора;
- распылением раствора на обрабатываемую поверхность.

Среди требований, предъявляемым к процессу металлизации, помимо требований по электропроводности, предъявляются требования к минимальной толщине покрытия, его адгезии к поверхности материала основания и шероховатости как токопроводящего покрытия, так и осажденной на него меди [2].

Минимальная толщина металлизации в переходных отверстиях ПП не должна быть менее 20 мкм для двусторонних и 25 мкм для многослойных печатных плат [2], что делает необходимым электролитическое осаждение меди. Требование к шероховатости поверхности металлизации низкочастотных схем обусловлено необходимостью монтажа на ПП или ОСП электронных компонентов как в корпусе, так и без него. От качества поверхности меди будет зависеть объем адгезива и (или) паяльной пасты при монтаже и пайке компонентов, а также тепловое сопротивление на границе контактирования тел с разными термомеханическими и диэлектрическими свойствами (пара металл – полупроводник) [3].

Было проведено 2 эксперимента. Во время 1-ого эксперимента металлизировались заготовки с ТС из палладия. Каждая заготовка из стеклотекстолита зачищалась от органических загрязнений изопропиловым спиртом, сушилась и проходила 3 этапа процесса подготовки. На 1-ом этапе заготовки кондиционировались – обрабатывались в специальном растворе (рН 9) для создания условий последующего наилучшего осаждения проводящего слоя на диэлектрических поверхностях. На следующих этапах посредством активации диэлектрика в совмещенном коллоидном растворе на основе хлористых солей олова и палладия (рН 0) с последующим разложением солей в растворе (рН 12) на поверхности диэлектрика формировался тонкий токопроводящий слой палладия.

После прохождения всех этапов прямой металлизации заготовки погружались в серноокислый электролит меднения и металлизировались в течение 1 часа. Площадь погружаемого в раствор диэлектрика составляла  $S_{\text{мет}} \approx 0.336 \text{ дм}^2$ , регулируемое значение плотности тока составляло  $j \approx 1.48 \frac{\text{А}}{\text{дм}^2}$ . Адгезия получившегося слоя на границе медь-палладий – хорошая (см. рис.1).

Во 2-ом эксперименте на предварительно зачищенные диэлектрические подложки методом аэрозольного распыления были нанесены слои графита и токопроводящего лака. Эти материалы не требуют промежуточной химической подготовки поверхности. Площадь каждой заготовки составляла  $S_{\text{мет}} \approx 0.5 \text{ дм}^2$ , одновременно металлизировались 2 подложки. Время электролитического осаждения меди из серноокислого электролита составляло 1 час, плотность тока  $j = 2 \frac{\text{А}}{\text{дм}^2}$ . В то время как металлизация на ТС из графита прошла по всем поверхностям заготовки, на подложке с ТС из Emilac (токопроводящий лак на медной основе с добавлением серебра) медь осадилась только на 2 см от границы раствор-воздух. Адгезия получившегося слоя медь-графит – удовлетворительная (см. рис.2).

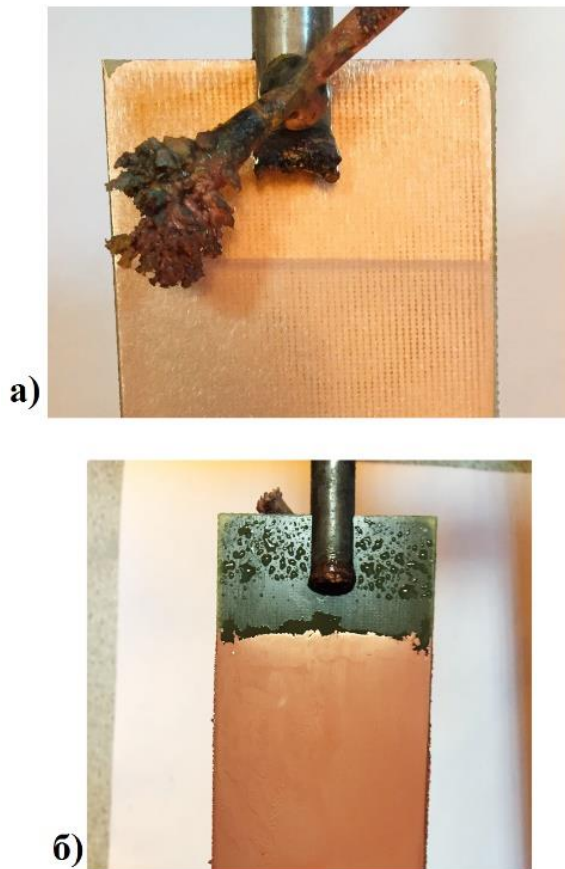


Рис.1. Процесс прямой металлизации с использованием палладия: а) подготовка, б) металлизация (1 час)

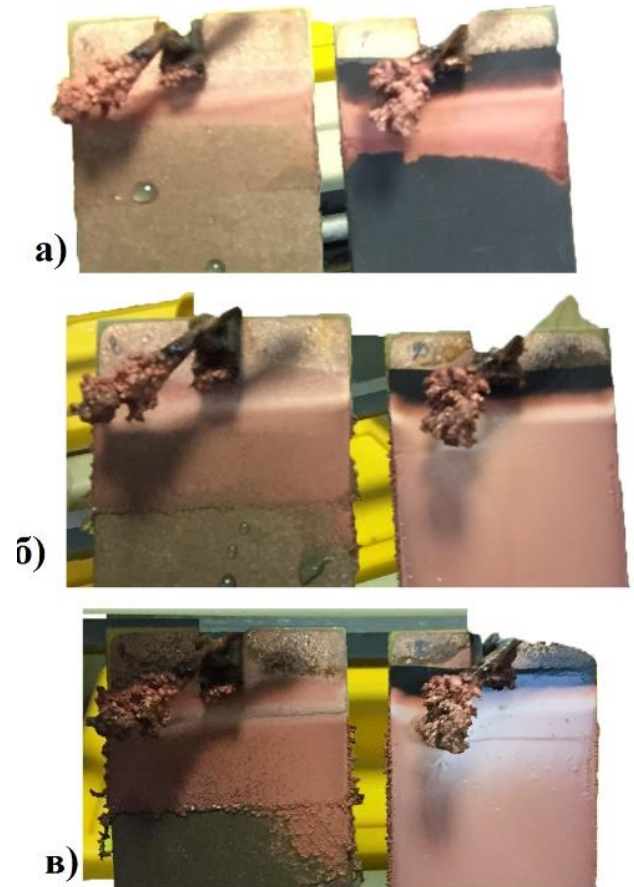


Рис.2. Процесс металлизации заготовок с ТС графита (справа) и Emilac (слева) после: а) 1 мин., б) 10 мин., в) 1 час

В ходе дальнейшего исследования с помощью профилометра были измерены показатели шероховатости 3 заготовок с ТС из графита и 3 заготовок с ТС из Emilac. Выходные параметры получившихся металлизированных заготовок сведены в итоговую таблицу (см. табл.1).

Таблица 1. Выходные параметры металлизированных заготовок

Токопроводящее покрытие	№ образца	Шероховатость Ra, мм	Масса осажденной меди, грамм	Адгезия
Прямая металлизация	1	Не измерялась	2,35	Хорошая
	2		1,91	
	3		—	
Emilac	1	3,248	Не металлизировались	Неудовлетворительная
	2	3,235		
	3	3,316		
Графит	1	0,809	3,05	Удовлетворительная
	2	1,835	4,36	
	3	0,683	3,3	

На рис.3 приведены графики, отображающие качество поверхности каждого ТС.

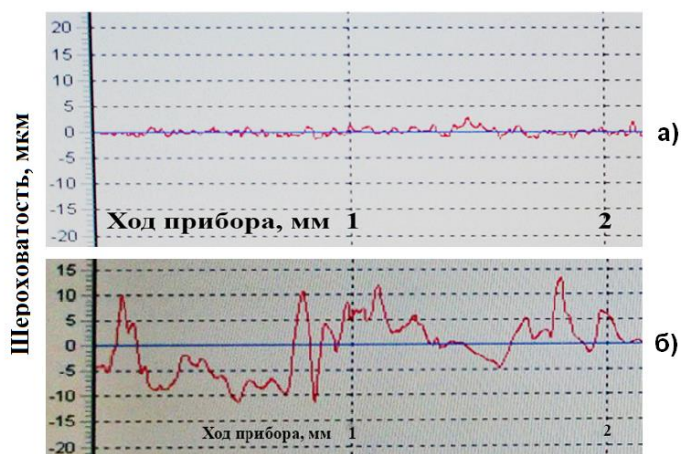


Рис.3. Графики шероховатости поверхности заготовок: а) ТС из графита; б) ТС из Emilac

Статистическим методом получены средние значения шероховатости для ТС из графита и Emilac, на основе которых сделан вывод о влиянии микронеровностей на поверхности токопроводящего слоя на качество осажденной меди (см. рис.4).

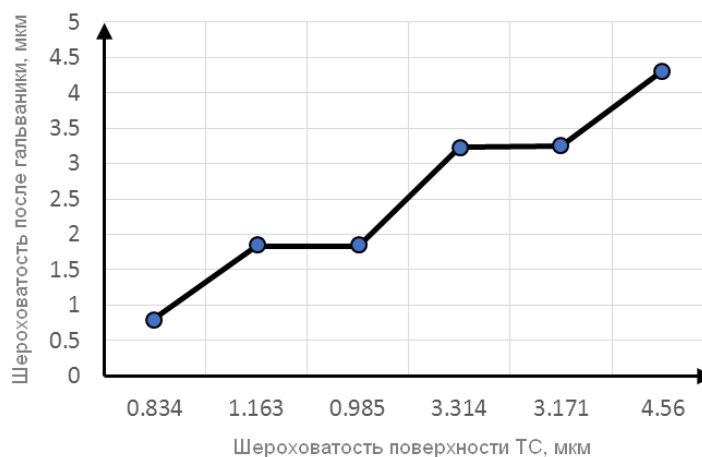


Рис.4. График зависимости шероховатости металлизации от шероховатости ТС

На основе проведенного анализа даны рекомендации по выбору ТС и процессу металлизации:

1. Токпроводящий слой должен выдерживать любой тип перемешивания в гальванической ванне (воздушное, эжекторное). Чтобы минимизировать механическое смывание токопроводящего слоя рекомендуется загружать заготовки под током не менее 1.5 А/дм<sup>2</sup>.
2. Графитовое покрытие может быть применено в тех случаях, когда на поверхности отверстия базового материала (например, на материалах на основе фторопласта) посредством прямой активации в совмещенном коллоидном растворе на основе хлористых солей олова и палладия создается токопроводящий слой недостаточной толщины.
3. Графитовое покрытие, формируемое аэрозольным методом, рекомендуется применять в случаях, когда отношение минимального отверстия к толщине заготовки не превосходит 2:1.

### Литература

1. *Медведев А.М.* Технология производства печатных плат. М.: Изд-во Техносфера, 2005. 112 с.
2. ГОСТ Р 53432-2009. Платы печатные. Общие технические требования к производству. Введ. 2010-06-30. М.: Изд-во Стандартиформ, 2010. 7с.
3. *Пазинич Л., Сейдман Л.* Технология монтажа мощного транзистора. О тепловом сопротивлении на границах припоя // *Электроника. Наука, технология, бизнес.* РИЦ Техносфера. Электрон. журн. 2016. № 9 (00159). Режим доступа: [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/5/article\\_5762\\_157.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/5/article_5762_157.pdf) (дата обращения 10.03.2018)

**УДК 621.3.049.75:678.067.5**

### **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАТ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТЕПЛОТВОДЯЩЕМ ОСНОВАНИИ**

Максим Андреевич Мельник <sup>(1)</sup>, Ольга Николаевна Смирнова <sup>(2)</sup>

*Студент 3 курса, бакалавриат <sup>(1)</sup>, магистр 1 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.С. Боброва,*

*ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В электронной промышленности нередко используются термопласты в качестве диэлектрического основания плат. Это обуславливается такими свойствами пластмасс, как большая производственная гибкость, исключительная лёгкость относительно других материалов (плотность около 2 г/см<sup>3</sup>) [1], достаточные электроизоляционные свойства. Использование различных способов литья позволяет добиться практически любых геометрических форм основания будущей платы, что открывает возможности для применения термопластов в автомобилестроении, медицине и приборостроении.

Однако пластмассы в качестве основного материала диэлектрических оснований плат обладают рядом особенностей, затрудняющих их применение: ограниченная тепловая и химическая стойкость, низкая теплопроводность. Из этих соображений для формирования криволинейных оснований плат предложено использование

металлического теплоотводящего основания с диэлектрическим слоем на основе эпоксидной смолы, армированной стеклотканью (см. таблицу 1).

Таблица 1. Сравнение производств коммутационных структур

Критерий оценки	Способ изготовления		
	Печатная плата	Технология 3D-MID	Разработанный способ
Используемые материалы	Фольгированный и нефольгированный стеклотекстолит	Термопласты	Металл, покрытый стеклотканью, пропитанной эпоксидной смолой
Теплопроводность, Вт/м·К	Стеклотекстолит FR4: 0,2	ABS (АБС-пластик): от 0,13 до 0,22	Сплавы алюминиевые деформируемые: от 221 до 237
Размерность изготавливаемых элементов	2D	$n \times 2D$ , 3D	2D, $n \times 2D$ , 3D
Сложность изготовления	Промышленное производство автоматизировано		Производство не автоматизировано
Относительная цена производства	Средняя стоимость, определяется маркой стеклотекстолита	Высокая стоимость, определяется оборудованием для лазерного структурирования	Средняя стоимость, определяется материалом теплоотводящего основания

В качестве примера в работе рассмотрено изготовление светодиодной лампы. Проанализировав существующие конструкции LED ламп, было выявлено, что при использовании оснований, представляющих собой в поперечном сечении многогранник, расположение светодиодов ограничено плоскостями граней, что будет вызывать наличие непокрытых зон на диаграмме направленности света. Для решения этой проблемы было предложено расположить светодиоды на цилиндрической поверхности (см. рис.1), поскольку такое расположение обеспечивает наибольший угол рассеивания (рассеивание по двум координатам составляет  $360^\circ$ ).

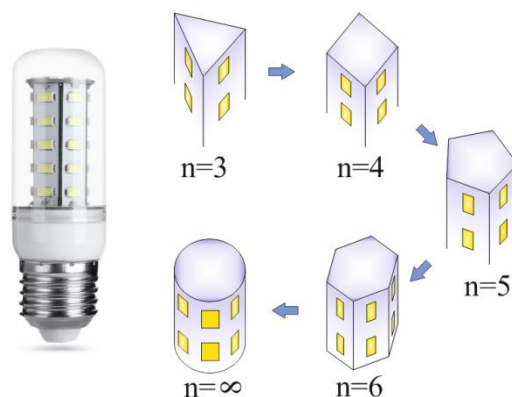


Рис. 1. Расположение светодиодов на основаниях различной формы

Для реализации предложенной конструкции в лабораторных условиях были изготовлены алюминиевые цилиндры с диэлектрическим слоем из стеклоткани Э1-100, пропитанной эпоксидной смолой Этал-212Т, полимеризованной после фиксации стеклоткани на металлоосновании.

Изготовление образцов состояло из четырех основных этапов:

- Подготовка поверхности (формирование шероховатости Ra от 10 до 50 мкм, очистка от механических и органических загрязнений).
- Приготовление смолы.
- Фиксация и пропитка стеклоткани смолой.
- Сушка и термополимеризация смолы.

Экспериментальные образцы оценивались по количеству дефектов по площади цилиндра (отслоение стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой, от теплоотводящего основания после сушки) и прочности сцепления с основанием.

Результаты эксперимента показали, что разработанный способ приемлем для изготовления плат на цилиндрическом теплоотводящем основании. Также во время проведения исследования были предложены следующие рекомендации по формированию заготовок плат цилиндрической формы:

- 1) Необходима предварительная механическая обработка металлооснования для обеспечения сцепления смолы с цилиндрической поверхностью.
- 2) Предварительная обработка концов стеклоткани позволяет уменьшить шов, а также препятствует выпадению стекловолокон.
- 3) Для уменьшения загрязнений получаемого диэлектрического слоя следует предварительно зафиксировать стеклоткань на цилиндрической поверхности, а затем пропитать ее.
- 4) Смолу необходимо наносить вдоль образующей цилиндра для обеспечения максимальной пропитки стеклоткани и ее сцепления с поверхностью.
- 5) Вертикальное положение заготовки во время сушки обеспечивает наиболее равномерное распределение, высыхание и термополимеризацию смолы.

#### **Литература**

1. Франке Й. 3D MID. Материалы, технологии, свойства: пер. с англ. / под ред. И.А.Волкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 336 с.

#### **УДК 539.23**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕРСНЫХ ОПАЛОВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Ксения Витальевна Мозер

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Е.В. Панфилова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

В современном мире разработка и совершенствование оптико-электронных устройств играет важную роль. Оптоволокно, светодиоды, лазеры, дисплеи – наглядные примеры приборов и устройств, которые используются и массово производятся. Поэтому улучшение качества производства, разработка принципиально новых и доработка старых методов формирования данных типов устройств является востребованной нишей для исследований.

Одним из наиболее перспективных материалов в оптоэлектронике является структурированный кремнезём или опал. Опаловая матрица обладает



высокоорганизованной структурой и является основой для фотонных кристаллов (ФК). Фотонные кристаллы обладают фотонной запрещённой зоной (ФЗЗ), регулирование положения которой может использоваться в фильтрах пропускания и волноводах. В опаловой матрице данное регулирование возможно в случае подбора характеристик для получения той или иной структуры, но обычная (не инверсная) матрица обладает лишь 26% пустот, что несколько ограничивает её возможности. Применение же инверсной матрицы имеет большие перспективы, она обладает 86% пустот, которые могут заполняться как металлами, неметаллами, в том числе и жидкими кристаллами (ЖК), формируя нанокомпозит.

При этом внедрение в структуру инверсного опала на основе полимера ЖК наиболее интересное направление. Инверсная структура является основой для капсулирования ЖК. Полимер с включённым в него периодически расположенными монодисперсными каплями ЖК похож по своим свойствам на опаловые матрицы, но он более гибок в использовании и таким материалом проще управлять с помощью полевых воздействий.

В этой связи представляет интерес решение технологической задачи заполнения пустот опаловой матрицы полимером. Основными способами заполнения опаловой матрицы материалами внедрения являются пропитка, вакуумные методы и электрохимические способы. Наиболее приемлемым способом внедрения полимера является электрохимическое осаждение. Учитывая особенности процесса [5] и результаты предыдущих исследований [4], предлагается реализовать процесс одновременного с формированием матрицы ее заполнения полимером (рис. 1).

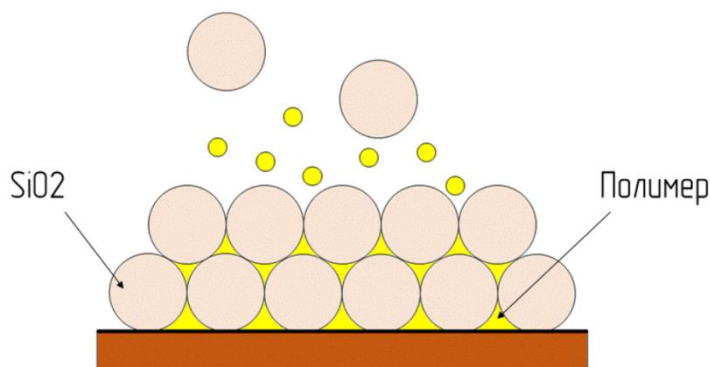


Рис. 1. Метод одновременного формирования матрицы с внедрением полимера

Результаты данной работы могут быть использованы в технологии оптоэлектронных устройств, в частности, при создании сверхтонких гибких экранов.

## Литература

1. В.А. Гуняков, С.А. Мысливец, А.М. Паршин, В.Я. Зырянов, В.Г. Архипкин, В.Ф. Шабанов. Управление пропусканием многослойного фотонного кристалла с жидкокристаллическим дефектом с помощью магнитного поля // Журнал технической физики. 2010. Т.80. № 10. С 95-100.



2. П.В. Долганов, Г.С. Ксёндз, В.К. Долганов. Жидкокристаллические фотонные кристаллы: оптические свойства и их зависимость от поляризации света и температуры // Физика твердого тела. 2013. Т. 55, № 5. С 1017-1020.
3. П.В. Долганов, В.М. Масалов, Н.С. Сухинина, В.К. Долганов, Г.А. Емельченко. Инвертированный опал на основе полимерного наполнителя и трансформация его оптических характеристик// Физика твердого тела. 2014. Т.56, № 4. С 717-721.
4. В.А. Дюбанов, Д.А. Езенкова, К.В. Мозер К.В. Исследование влияния электрофореза на формирование коллоидных плёнок кремнезёма// Сборник докладов 10-й Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России». 2017. С 192-196.
5. С.А. Саргисян, Н.Б. Тавакалян, К. С. Маргарян, А. С. Саркисян. Электроосаждение сополимеров винилацетата на стальном электроде// Химический журнал Армении. 2012. №3. С 381 – 388.
6. Отв.ред. В.Ф. Шабанов, В.Я. Зырянов; Рос.акад.наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики им. Л.В. Киренского [и др.]. Фотонные кристаллы и наноконпози́ты: структурообразование, оптические и диэлектрические свойства// Н: Изд-во СО РАН. 2009. 257 с.
7. В. А. Шахнов, Ю.В. Панфилов, Е.В Булыгина, К.М. Моисеев, С.В. Янович, К.Н Беседина, А.И. Власов, С.В. Токарев, Д.В. Якимец. Способ формирования термочувствительных наноконпозиционных фотонных кристаллов: пат. WO2013002672A1 Российская Федерация, 2012
8. G. Alagappan, X. W. Sun, Ming Bin Yu, P. Shum, Daniel den Engelsen. Tunable Dispersion Properties of Liquid Crystal Infiltrated Into a Two-Dimensional Photonic Crystal. IEEE Journal of Quantum Electronics. 2006. No.4. DOI:10.1109/JQE.2006.871070.
9. Davy P. Gaillot, Elton Graugnard, Jeffrey S. King, and Christopher J. Summers. Tunable Bragg peak response in liquid-crystal-infiltrated photonic crystals. Journal of the Optical Society of America B. 2007. No.4. pp. 990-995.

**УДК 621.385.833**

## **НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВАКУУМНОГО МОДУЛЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА В УСТАНОВКЕ “НАНОФАБ- 100”**

Дмитрий Васильевич Новиков

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю. В. Панфилов,*

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Области применения Научно-технического Комплекса (НТК) “НаноФаб-100” покрывают практически все поле нанотехнологических исследований и разработок, связанных с твердотельными наноматериалами, наноструктурами и наноустройствами. Спектр возможностей “НаноФаб 100” простирается от проведения фундаментальных исследований до отработки отдельных технологических приемов и моделирования наноэлектронных устройств.

Модуль Сверхвысоковакуумного Сканирующего Зондового Микроскопа (СВВ СЗМ) комплекса “НАНОФАБ 100” предназначен для исследования поверхностей пластин,

имеющих диаметр до 100 мм, и позволяет реализовывать более 40 методик измерения поверхностных характеристик подложек при сверхвысоком вакууме.

Сканирование производится под управлением контроллера, поддерживающего в процессе сканирования постоянный уровень взаимодействия зонд СЗМ–образец. В этом случае изменение величины управляющего сканированием сигнала контроллера СЗМ отображает рельеф поверхности.

Сканирующий зондовый микроскоп “НаноФаб-100” позволяет воспользоваться методиками сканирующая туннельной микроскопии (СТМ) и атомно-силовая микроскопии (АСМ).

Указанные методики СЗМ для отображения рельефа являются базовыми, однако в процессе сканирования зонды СЗМ могут регистрировать, помимо рельефа, другие характеристики и свойства поверхности. Это могут быть наномеханические, электрические, магнитные и прочие физико-химические параметры.

Дополнительная информация об исследуемой поверхности, помимо рельефа, может быть получена также путем локальных измерений зависимости величины взаимодействия зонда СЗМ с образцом при изменении расстояния СЗМ зонд-образец. Такие методики СЗМ называются «Спектроскопиями» (СТМ Спектроскопии, АСМ Спектроскопии).

### **Литература**

1. Нанотехнологические комплексы на базе платформы “НаноФаб-100” – информационная брошюра. Режим доступа: [http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/nanofab\\_100.pdf](http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/nanofab_100.pdf) (дата обращения 15.03.2018).
2. Описание принципов работы Сканирующей Зондовой Микроскопии (СЗМ). Режим доступа: <https://www.ntmdt-si.ru/resources/spm-principles> (дата обращения 15.03.2018)
3. *Кувайцев А.В.* Сканирующие зондовые микроскопы: виды и принцип работы // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/10/72717> (дата обращения: 14.01.2018).

**УДК 543.271; 533.5.08; 62-567.7**

### **РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ САУ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕМПФЕРАМИ ПЛАТФОРМЫ АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ**

Максим Сергеевич Ондрин<sup>(1)</sup>, Иван Владимирович Макеев<sup>(2)</sup>, Александр Викторович Казаков<sup>(3)</sup>

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>, студент 4 курса<sup>(2)</sup>, студент 3 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

В задачах микро- и нанотехнологий, требующих точного позиционирования оборудования, важное место занимает необходимость изоляции оборудования от внешних вибрационных возмущений, вносящих заметные искажения в его работу.

С целью обеспечения активной виброизоляции, то есть виброизоляции, при которой возбуждаются колебания, противоположенные внешним по фазе, разрабатывается демпфирующая платформа на основе магнито-реологических (МР) эластомеров – упругих полимеров в виде дисков-мембран, способных изменять свои

механические свойства и деформироваться под действием магнитного поля (МР-эффект). В конструкции демпфирующих элементов (далее демпфер) предусмотрены катушки индуктивности, которые при подаче соответствующего управляющего тока, изменяют упруго-вязкостные свойства эластомера и перемещают его, притягивая к центру катушки. Общая рабочая плоскость платформы устанавливается на жёстких центрах дисков четырёх демпферов.

Для управления демпферами сигнал, подаваемый с персонального компьютера посредством программы в среде Lab View через цифро-аналоговый преобразователь, должен усиливаться до необходимого значения тока, что было достигнуто с помощью схемы на основе операционного усилителя. Соответственно, каждому из четырех демпферов соответствует один усиливающий модуль.

Такие модули объединены в блок усилителей в одном корпусе, конструкция которого допускает сборку варьируемого количества модулей. Детали корпуса спроектированы в Autodesk Inventor и изготовлены посредством 3D печати из пластика.

Основными элементами блока являются соответственно: платы усилителей, шины питания, земельная шина, общий выход нагрузки, управляющий вход, тумблер включения, предохранители. Охлаждение усилителей осуществляется посредством принудительного сквозного продува.

После изготовления и сборки для каждого из усилителей в результате экспериментальных исследований построена вольт-амперная характеристика (ВАХ) в интервале 0..1,2 В с шагом 0,05 В (рис.1). Было выявлено, что ВАХ усилителей различаются, что значительно влияет на точность управления поведением МРЭ. Соответственно, по результатам измерений построены математические зависимости поведения усилителей, которые позволят достигать требуемых значений управляющего тока с наименьшими искажениями. Данные зависимости будут математически учтены в разрабатываемой управляющей программе.

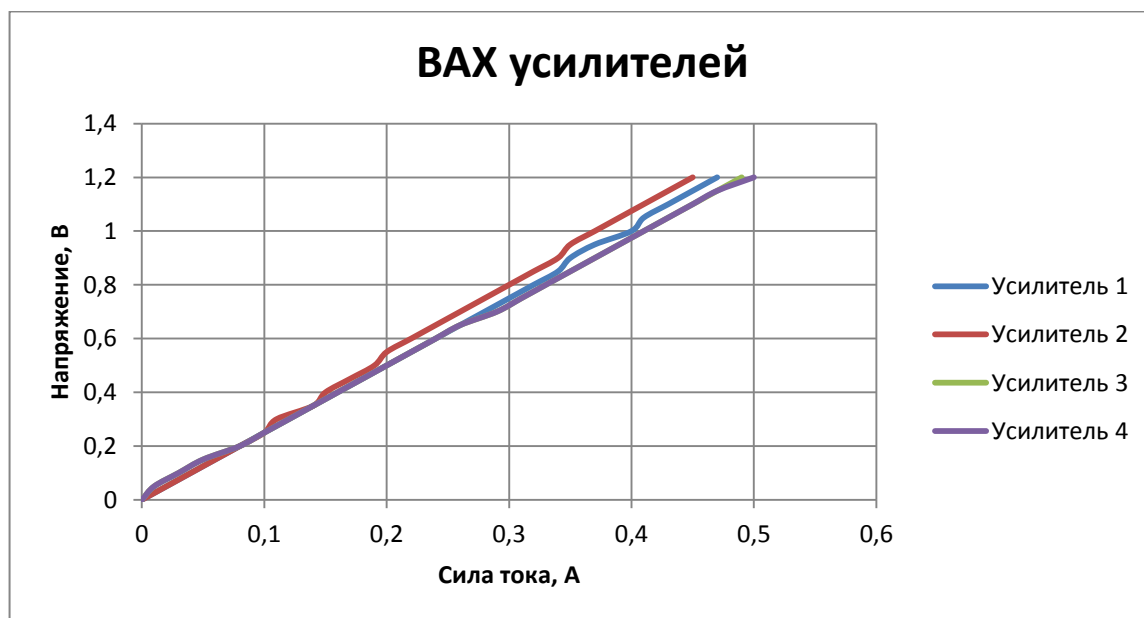


Рис.1 – ВАХ усилителей

## Литература

1. Михайлов В.П., Зобов И.К., Селиваненко А.С. Демпфер на основе магнитореологического эластомера для активной виброизоляции нанотехнологического оборудования // Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/nano/hidden/813.html>

2. Михайлов В.П., Товмаченко Д.К., Базиненков А.М., Степанов Г.В. Характеристики платформы для активной виброизоляции на основе магнитореологических эластомеров // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2016. - № 12. - С. 51-57.
3. Магнитоактивный полимер с магнитотвердым наполнителем / Г.В. Степанов [и др.] // Вестник ПНИПУ. Механика, 2013, вып. 4, - С. 106-137.
4. Операционный усилитель // Википедия [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Операционный\\_усилитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Операционный_усилитель).

## УДК 621.79.01

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УСТАНОВКИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ В ПЛАЗМЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ MPC

Артем Дмитриевич Павленко<sup>(1)</sup>, Андрей Александрович Рогожин<sup>(2)</sup>, Денис Дмитриевич Васильев<sup>(3)</sup>

*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, магистр 1 курса<sup>(2)</sup>, аспирант 3 года<sup>(3)</sup>  
кафедры «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

При обработке изделий в плазме низкого давления в зависимости от мощности разряда возможно проведение процессов очистки поверхности, ее активации [1] и травления поверхностного слоя [2]. Плазменная обработка используется в полупроводниковом и микроэлектронном производстве [2], стоматологии [3] и текстильной промышленности [4].

Плазменная обработка может быть разделена на два вида – физическую и химическую [2]. При физической плазменной обработке в качестве рабочего компонента используется инертный газ (например, аргон). Загрязнения с поверхности заготовки удаляются при их бомбардировке высокоэнергетическими ионами инертного газа. При химической обработке используются активные газы (например, кислород или водород), которые при взаимодействии с обрабатываемой поверхностью вступают в реакцию с органическими соединениями и удаляют их.

Практическое применение «сухого» метода плазменной обработки актуально, так как не требуется использование агрессивных химических соединений, что облегчает процесс обработки изделий и не требует сложных операций нейтрализации и утилизации химических соединений [5].

В лаборатории кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана ведутся работы по разработке установки низкочастотной обработки изделий в плазме низкого давления MPC (Multi Plasma Cleaner). Частота разрядного тока составляет 40 кГц. В зависимости от технологических режимов обработки возможно проведение процессов очистки, активации или травления поверхности изделий. Целью данной работы является изучение технологических возможностей установки низкочастотной обработки изделий в плазме низкого давления MPC, а именно мощности разряда в зависимости от технологических параметров процесса.

### Описание установки

Стеклянная рабочая камера установки МРС, объемом 13 л, установлена горизонтально. Внутри рабочей камеры параллельно горизонтально установлены два прямоугольных электрода из нержавеющей стали с размерами 225x160 мм и 210x160 мм. Предусмотрена возможность ручного изменения расстояния между электродами при разгерметизированной рабочей камере.

### Описание эксперимента

Для изучения технологических возможностей установки МРС проводятся эксперименты по определению мощности разряда в зависимости от параметров процесса - расстояния между электродами, рабочего давления и напряжения разряда.

Диапазон варьирования расстояния между электродами – 60, 80, ..., 140 мм; рабочего давления – 0,42, 0,74, ..., 2,98 Торр; напряжения разряда – 260, 280, ..., 500 В. На нижний электрод подается отрицательный потенциал (катод), верхний электрод заземлен (анод). Изделия при обработке устанавливаются на нижнем электроде, то есть происходит обработка поверхности изделия ионами рабочего газа. В качестве рабочего газа используется аргон. Результаты определения мощности разряда в зависимости от параметров процесса показаны на рисунке 1.

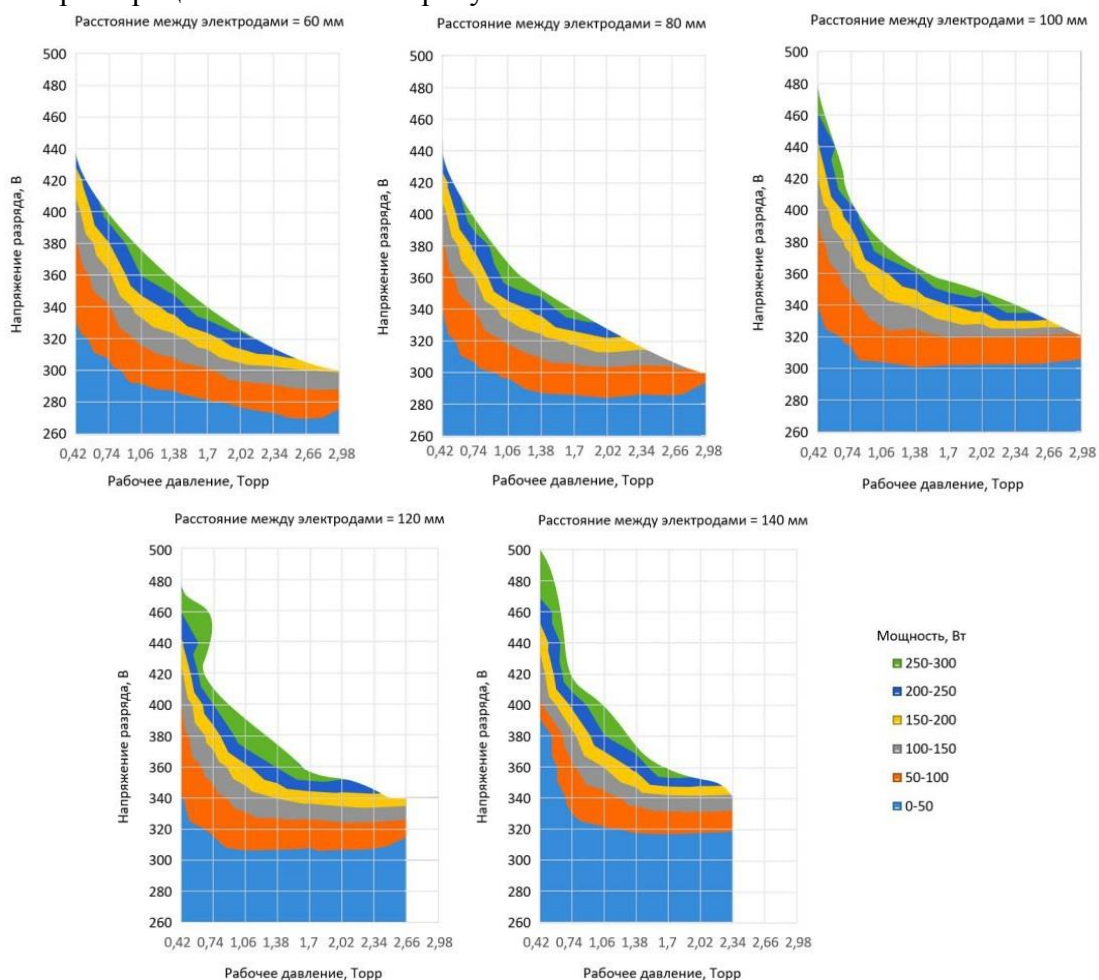


Рис. 1. Значения мощности разряда в зависимости от параметров процесса

При изучении технологических возможностей установки МРС выявлено, что в зависимости от параметров процесса мощность разряда может достигать 300 Вт и более. При увеличении расстояния между электродами область высоких значений мощности разряда смещается в сторону увеличения значений напряжения разряда.

По результатам проведения эксперимента выявлено, что при рабочем давлении менее 0,6 Торр процесс плазменной обработки протекает нестабильно с образованием мелких дуг на гранях электродов, тогда как при рабочем давлении более 2,5 Торр процесс плазменной обработки протекает неустойчиво – при малом увеличении напряжения разряда возможно возникновение сильноточного дугового разряда. По данным причинам процесс низкочастотной обработки изделий в плазме низкого давления рекомендуется проводить при рабочем давлении от 0,6 до 2,5 Торр.

### Литература

1. *Лесниковский, П.В.* Ионно-плазменная очистка поверхности / *П.В. Лесниковский, И.А. Иванов* // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке: материалы XII Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов БНТУ (72-й студенческой научно-технической конференции БНТУ), Минск, 19–20 мая 2016 г.: в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С.А. Иващенко [и др.]. – Минск, 2016. – ч. 2. - С. 101-104.
2. *Бармашов И.* Эффективная очистка плазмой изделий электронной промышленности // Технологии в электронной промышленности. – 2013. – №. 2. – С. 84-85.
3. *Belkind A., Gershman S.* Plasma cleaning of surfaces // Vacuum Coating and Technology November. – 2008. – С. 46-57.
4. *Choudhary U, Dey E, Bhattacharyya R and Ghosh SK.* A Brief Review on Plasma Treatment of Textile Materials // Austin Publishing Group, Advance Research in Textile Engineering. - 2018. - С. 1019.
5. *Абдуллин, И.Ш.* ВЧ-плазменная очистка поверхности при пониженном давлении / *И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин* // Вестник Казанского технологического университета. – 2003. – №. 1.

### УДК 666.3.016.5

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОМОЛА ПОРОШКА КЕРАМИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И СОДЕРЖАНИЯ СТЕКЛА В СОСТАВЕ КЕРАМИКИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Поручиков Николай Павлович

*Магистр 2 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.И.Беликов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Коммутационная плата микросборки представляет собой миниатюрный аналог многослойной печатной платы. Основная задача диэлектрического основания печатной платы состоит в минимизации потерь энергии в СВЧ тракте и изоляции сигнального тракта от электромагнитных помех. Данные функции керамической подложки становятся особенно важными для многослойных печатных плат (МПП). У керамики, как у диэлектрика, выделяют два основных параметра, это тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) и диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ). Тангенс угла диэлектрических потерь влияет на рассеивание энергии на СВЧ тракте при работе устройства, а диэлектрическая проницаемость характеризует степень изолированности сигнального тракта от электромагнитных со стороны других слоев платы и извне. Значение  $\text{tg}\delta$ , обычно, не

превышает сотых или десятых долей единицы, но при работе на частотах свыше 1 ГГц, различия в сотых становятся существенными. Значение  $\epsilon$  можно сделать бесконечно большим, для полной изоляции одного слоя печатной платы от другого, но в случае с СВЧ устройствами так сделать нельзя, в силу того, что и корпус устройства, и излучение от соседних слоев участвуют в работе каждого отдельного слоя.

Учитывая то, что СВЧ устройства очень чувствительны к значениям  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$ . На значения  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  готового изделия влияет большое количество факторов, например: дисперсность порошков алунда и стекла, влажность порошков при помоле, режим помола, массовые доли порошков в составе керамики и т.д. Для определения параметров техпроцесса, получения требуемых значений дисперсности порошка, проводятся исследования, в ходе которых выявляются зависимости дисперсности порошка от времени помола и формы мелющих тел, а также определяется оптимальная дисперсность порошков, входящих в состав керамики. На рисунках 1 и 2 представлены графики, построенные на основе экспериментальных данных, отражающих зависимости  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  от удельной площади поверхности. Требуемое значение  $\text{tg}\delta$  составляет  $10,2 \cdot 10^{-4} \pm 0,003$ . Значение  $\epsilon$  составляет  $7,2 \pm 0,15$ .

Порошок стекла подготавливается путем дробления стеклянного гранулята, который варится из шихты, в тиглях при температуре  $1200^\circ\text{C}$ , с выдержкой и последующей грануляцией в воду. Для получения оптимальных свойств материала важно массовое соотношение порошков стекла и оксида алюминия. На рисунке 1 показана зависимость  $\epsilon$  стеклокерамического материала (СКМ) от удельной поверхности порошка стекла при постоянном весовом соотношении оксида алюминия и стекла.

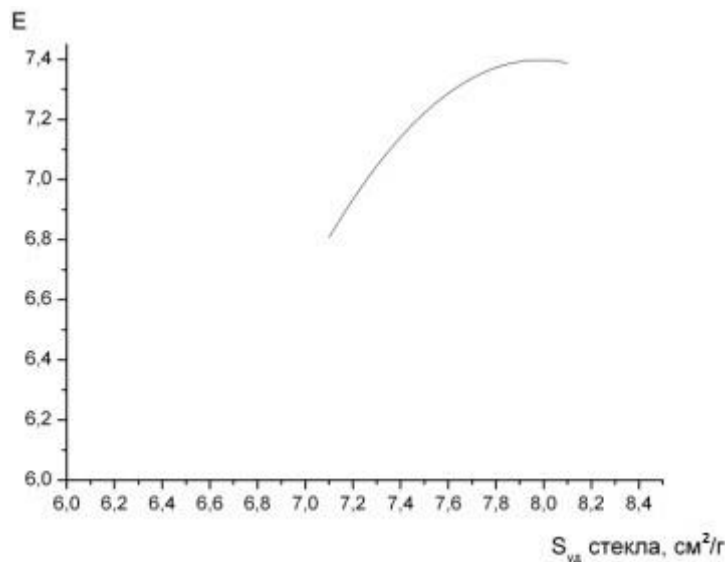


Рисунок 1 - Зависимость  $\epsilon$  от  $S$  удельной

Увеличение диэлектрической постоянной связано с насыщением стеклом «каркаса» СКМ и появлением плёнки стекла на поверхности. Необходимое для работы СВЧ усилителя значение  $\epsilon$  равно 7-7,2 достигается при удельной поверхности стекла от  $7,3$  до  $8 \cdot 10^3$   $\text{см}^2/\text{г}$ . Величина удельной поверхности оказывает влияние на усадку (в процентах) готового керамического изделия. Зависимость усадки от величины удельной поверхности стекла представлена на рисунке 2.

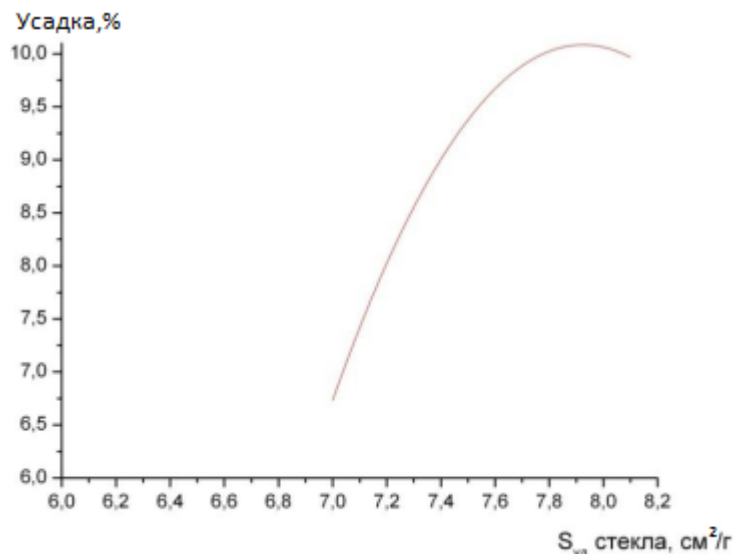


Рисунок 2 – Зависимость усадки от  $S$  удельная

Из графика на рисунке 2 видно, что при возрастании удельной поверхности стекла увеличивается и усадка. Гранулометрический состав порошков определяет количество связующего, необходимого для получения нужной вязкости шликера. От вязкости шликера зависит усадка изделия при обжиге: чем мельче частицы, тем больше стекла потребуется для заполнения пор в порошке оксида алюминия и тем выше механическая прочность готового изделия. При удалении в процессе обжига органических компонентов связки из ленты существуют ограничения связанные с увеличением сопротивления проникновению кислорода и удалению продуктов выгорания связующих компонентов. Кроме того увеличивается неравномерность усадки по осям X и Y, в связи с массопереносом мелких частиц в процессе сушки ленты.

Механическая прочность СКМ зависит от плотности упаковки и размера частиц. Зависимость механической прочности образцов СКМ от удельной поверхности порошка оксида алюминия показана на рисунке 3.

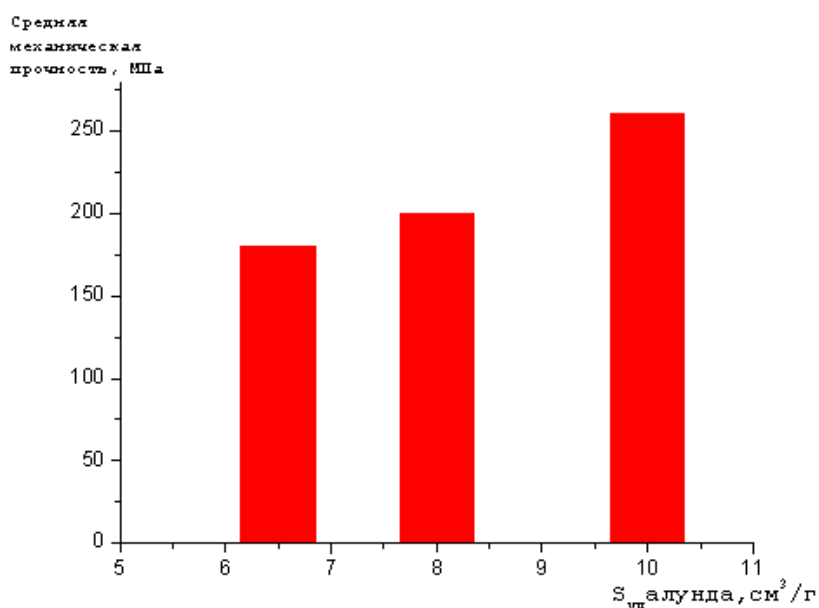


Рисунок 3 – Зависимость механической прочности от  $S$  удельной



Увеличение механической прочности при увеличении удельной площади поверхности согласуется с литературными данными и связана с гомогенизацией фаз и увеличением центров кристаллизации.

Таблица 1 – Результаты измерений  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$

№	Суд.ст, $\text{см}^2/\text{г}$	Суд.ал, $\text{см}^2/\text{г}$	$\epsilon$	$\text{tg}\delta$
1	$5,5 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^3$	6	$9,395 \cdot 10^{-4}$
2	$6,3 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^3$	6,4	$9,652 \cdot 10^{-4}$
3	$6,5 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^3$	6,8	$9,897 \cdot 10^{-4}$
4	$7,8 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^3$	7,2	$10,125 \cdot 10^{-4}$
5	$8,5 \cdot 10^3$	$10,1 \cdot 10^3$	7,3	$10,242 \cdot 10^{-4}$
6	$9,2 \cdot 10^3$	$10,3 \cdot 10^3$	7,6	$10,531 \cdot 10^{-4}$
7	$9,7 \cdot 10^3$	$14,8 \cdot 10^3$	8,0	$11,241 \cdot 10^{-4}$
8	$10,2 \cdot 10^3$	$15,1 \cdot 10^3$	8,3	$11,463 \cdot 10^{-4}$

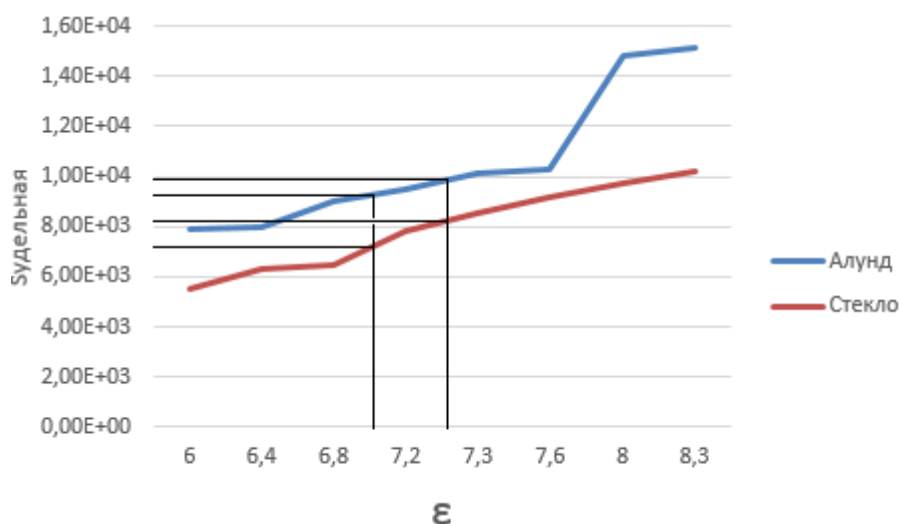


Рисунок 4 – Зависимость  $\epsilon$  от S удельной.

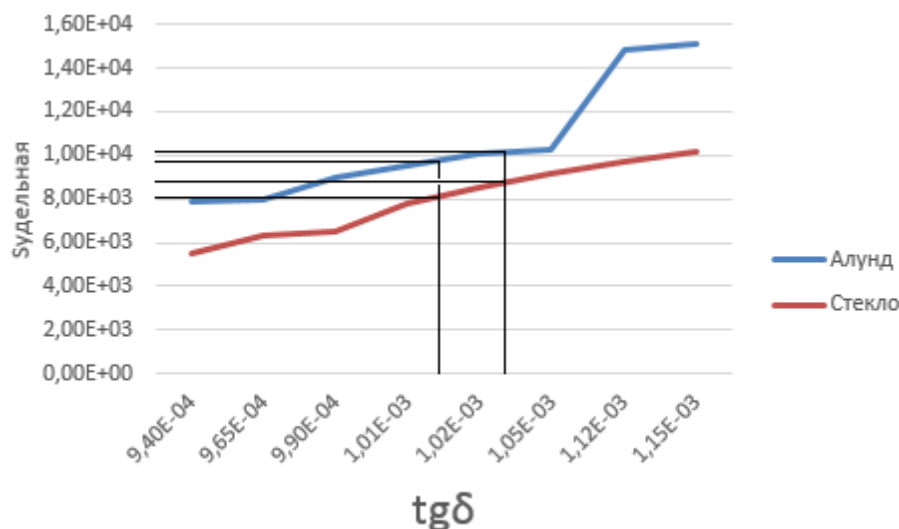


Рисунок 5 – Зависимость  $\text{tg}\delta$  от S удельной

Образцы, используемые в измерениях  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$ , представляют собой макет МПП в форме диска, набранный из семи слоев исследуемой керамики. Образцы имеют диаметр = 50мм, толщину = 4 мм. Требуемое значение  $\operatorname{tg}\delta$  составляет  $10,2 \cdot 10^{-4} \pm 0,003$ . Значение  $\epsilon$  составляет  $7,2 \pm 0,15$ .

Из графиков, представленных на рисунках 4 и 5 видно, что для получения требуемых параметров  $\epsilon$  значения Суд находятся в пределах от  $7,5 \cdot 10^3$  до  $8,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка стекла и в пределах от  $9,4 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка алунда. Необходимые значения  $\operatorname{tg}\delta$  достигаются при Суд от  $8,3 \cdot 10^3$  до  $9,5 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для стекла и в пределах от  $9,8 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка алунда.

Измерение двух основных параметров диэлектрика ( $\epsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$ ) проводились с помощью метода волнового диэлектрического резонатора. Принцип действия ячейки резонатора волноводно-диэлектрического для кабельной промышленности (РВД-КП) основан на возбуждении в системе, образованной испытуемым образцом, помещенным в отрезок запердельного волновода электромагнитных колебаний типа  $H_{01\delta}$ . Измеряется резонансная частота и нагруженная добротность такой системы, затем рассчитываются значения  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$  испытуемого образца путем решения дисперсионного уравнения на ЭВМ.

В таблице 2 приведены результаты проведенных экспериментальных исследований по выявлению зависимостей массового соотношения стекло/алунда (в процентах) от  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$ . На основе данных экспериментов были построены графики, на которых приведены зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от соотношения основных компонентов в составе керамики.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

№	Соотношение стекло/алунд, %	Диэлектрическая проницаемость, $\epsilon$	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\operatorname{tg}\delta$
1	40/60	6	$9,395 \cdot 10^{-4}$
2	41/59	6,4	$9,652 \cdot 10^{-4}$
3	42/58	6,8	$9,897 \cdot 10^{-4}$
4	43/57	7,2	$10,125 \cdot 10^{-4}$
5	44/56	7	$10,242 \cdot 10^{-4}$
6	45/55	7,3	$10,545 \cdot 10^{-4}$
7	46/54	7,5	$10,836 \cdot 10^{-4}$
8	47/53	8	$11,12 \cdot 10^{-4}$
9	48/52	8,3	$11,215 \cdot 10^{-4}$
10	49/51	8,4	$11,352 \cdot 10^{-4}$
11	50/50	8,5	$11,534 \cdot 10^{-4}$

На рисунках 8 и 9 представлены графики зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$  от соотношения стекло/корунд.

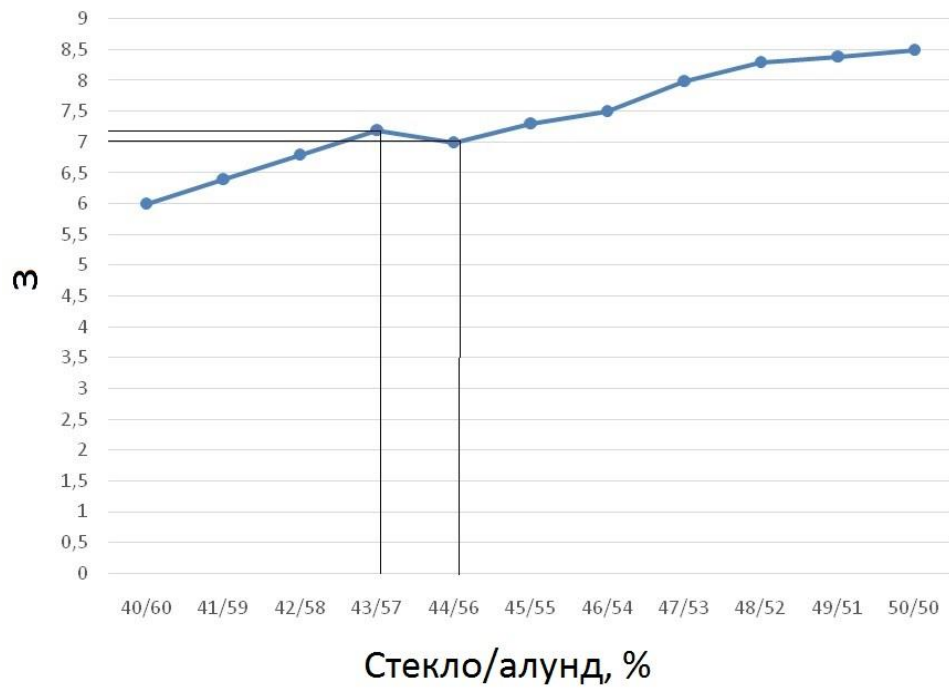


Рисунок 8 – Зависимость  $\epsilon$  от соотношения стекло/корунд

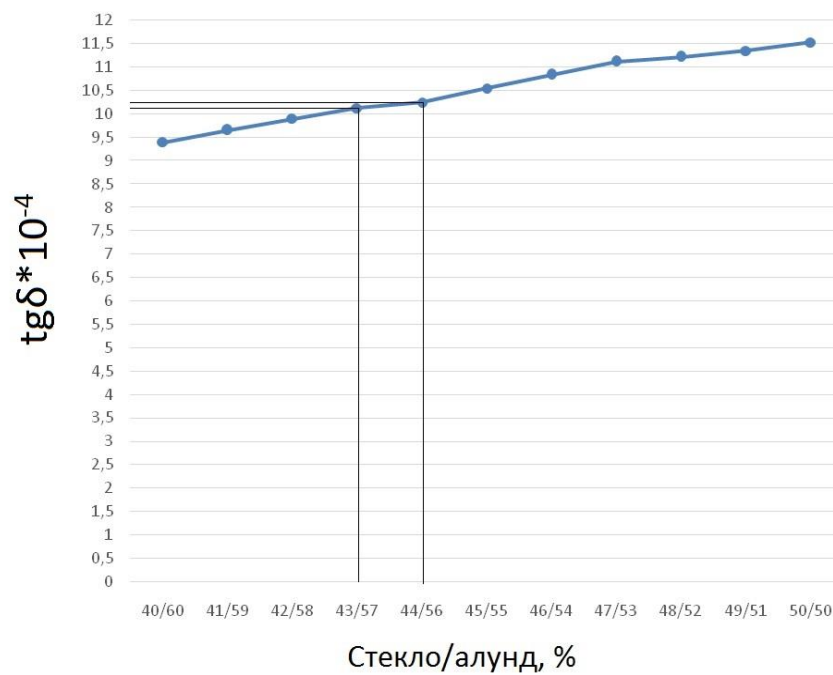


Рисунок 9 – Зависимость  $tg\delta$  от соотношения стекло/корунд

Из анализа данных таблицы 2 и графиков, представленных на рисунка 8 и 9 видно, что оптимальное соотношение стекло/корунд находится в пределах 43/57 .. 44/56.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что для получения требуемых  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  у керамического образца,  $S$  удельное порошка алунда должно находиться в диапазоне от  $8,3 \cdot 10^3$  до  $9,5 \cdot 10^3$   $\text{см}^2/\text{г}$ ,  $S$  удельное порошка стекла должно находиться в диапазоне от  $9,4 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$   $\text{см}^2/\text{г}$ . Было установлено, что для достижения требуемых значений  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ , соотношение стекло/корунд должно находиться в диапазоне 43/57..44/56, но могли быть получены неточности из-за возможных влияний внешней среды на компоненты керамики и режимы работы печи. Графически выявлены вероятно оптимальные соотношения стекло/корунд, для получения керамики для многослойных плат с требуемыми свойствами.

### **Литература:**

1. Метод волнового – диэлектрического резонатора [Электронный ресурс] // URL: [http://www.ruscable.ru/article/Metod\\_volnovodno\\_dielektricheskogo\\_rezonatora/](http://www.ruscable.ru/article/Metod_volnovodno_dielektricheskogo_rezonatora/) (дата обращения 12.03.2017).
2. МИ 00173-2000. ГСИ. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь материалов с высокой проницаемостью в диапазоне частот от 0,5 до 18 ГГц. Методика выполнения измерений методом волноводно-диэлектрического резонатора.
3. ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.
4. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов.
5. Тангенс угла диэлектрических [Электронный ресурс] // URL: <http://electricalschool.info/main/naladka/666-tangens-ugla-dijelektricheskikh-poter.html> (дата обращения 12.03.2017).

**УДК 621.382.002**

## **КОНТРОЛЬ РОСТА В ВАКУУМЕ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

Пронин Михаил Александрович

*Магистр 1 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.В. Сидорова*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Быстрое развитие науки и техники требует совершенно новых подходов к электронным устройствам. Но устройства на основе классических КМОП-транзисторов достигли своего предела в размерах, поэтому необходим переход к новой технологии [1]. Такой технологией является производство устройств на основе островковых тонких пленок (ОТП) и наноструктур (ОНС), квантовых точек. Такие устройства обладают крайне низким энергопотреблением, широкой масштабируемостью, возможностью интеграции с существующими КМОП-технологиями. Помимо транзисторов на их основе можно производить: дисплеи с более яркой и сочной картинкой; солнечные панели с КПД

на 10% выше, чем у классических панелей; кубиты для квантовых компьютеров с большим временем когерентности. Известно, что серебряные наночастицы сильно взаимодействуют со светом из-за возбуждения локализованных поверхностных плазмонов на островке, поэтому сферические наночастицы серебра с диаметром около 70 нм будут эффективны как элементы для рассеяния света для солнечных элементов на основе a-Si: H [2].

Однако для создания таких устройств необходимо знать размер ОНС. На кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н. Э. Баумана проводятся исследования контроля роста ОТП и ОНС в процессе их формирования в вакууме. Контроль размера проводится посредством контроля электрических характеристик (тока и сопротивления) во время нанесения покрытия в вакууме на установке УВН-1М.

Для исследования режимов формирования ОТП выбрана серия образцов из ситалла с предварительно нанесенными медными контактными площадками. Осаждение меди проводится методом термического испарения на установке УВН-1. Рабочая вакуумная камера установки представляет собой изготовленный из нержавеющей стали цилиндр со смотровым окном, что позволяет визуально контролировать процессы, происходящие в вакуумной камере.

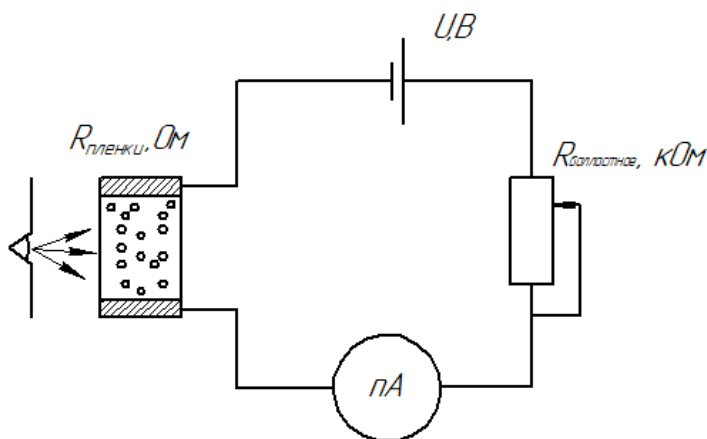
Камера оснащена двумя сменными фланцами для нанесения тонких пленок различными методами: магнетронное распыление, резистивное термическое испарение. Технологические модули должны быть оснащены универсальным интерфейсом, позволяющим подключать их к системе управления, обеспечивающей управление процессом нанесения в том числе через систему удаленного доступа.

Для проведения экспериментов был разработан и изготовлен технологический фланец Основа детали – фланец с 6 сквозными (2 по Ø12 и 4 по Ø9) отверстиями. Два отверстия отводятся на токовводы, еще два – на термопары, один – на подложкодержатель. В качестве слаботочных низковольтных токовводов используются винты М4 и М6 с отверстием под шестигранник ГОСТ 4357-70. Для изоляции используются фторопластовые втулки (рис. 1(а)). В качестве уплотнения используются резиновые кольца. Три отверстия М2 служат для присоединения защитного кожуха. Гладкие части винтов были обработаны мелкозернистой наждачной бумагой для лучшего контакта кольца и металла.

Контроль тока осуществляется с помощью пикоамперметра Keithley 6485, который способен измерять малые токи (от 20 фА до 20мА) с высоким разрешением и обладает высокой скоростью измерения. Схема подключения представлена на рис.1(б). Предусмотрено балластное сопротивление для ограничения тока, проходящего через пикоамперметр.



а)



б)

Рис. 1 – Фланец в сборе (а) и схема подключения стенда(б)

Планируется проведение серии экспериментов по нанесению ОТП и контролю тока в процессе нанесения. Предусмотрено построение математической модели зависимости размеров ОНС и параметров их формирования. Исследование топологии полученных образцов будет проводиться на атомно-силовом микроскопе для получения данных о латеральных размерах структур.

### Литература

1. Сидорова, С.В. Расчет технологических режимов и выбор параметров оборудования для формирования островковых тонких пленок в вакууме: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.27.06: защищена 27.10.2016/Сидорова Светлана Владимировна. – Москва, 2016. – 191 с.
2. Дисплеи с наноразмерными структурами. Начало положено /Н. Абаньшин [и др.] // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2007. № 5. С.32-38.
3. Application of plasmonic silver island films in thin-film silicon solar cells/ R.Santbergen, T.L.Temple, R. Liang, A.H.M.Smets, van Swaaij and M Zeman. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/2040-8978/14/2/024010> (дата обращения 06.03.2018)

УДК 621.396.6-973

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

Дмитрий Олегович Москалев <sup>(1)</sup>, Михаил Александрович Пронин <sup>(1)</sup>

Магистр 1 года <sup>(1)</sup>

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В. Панфилов

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электронные технологии в машиностроении»

### **Введение**

Первая мощная вычислительная цифровая машина была основана на радиолампах и называлась ENIAC. Это устройство весило 27 тонн и состояло из 17 тысяч радиоламп, которые время от времени перегорали и после полной остановки компьютера требовали замены [1]. Революционный переворот в радиотехнике произошел, когда на смену устаревшим лампам пришли полупроводниковые усилительные приборы – транзисторы. Однако в будущем размеры транзисторов достигнут конечного размера. Данный факт говорит о том, что необходим поиск новых путей развития вычислительной техники. Перспективным решением является создание квантового компьютера. Целью данной работы является рассмотрение основных причин и путей развития квантового компьютера.

### **Основная часть**

Носителем информации в квантовом компьютере является квантовый бит (кубит). Его состояние описывается законами квантовой механики. Основным отличием от классического бита, который может принимать состояние либо 0, либо 1, является то, что квантовый бит может находиться в обоих состояниях одновременно, то есть в состоянии суперпозиции [2]. Суперпозиция – это наложение состояний 0 и 1, которые в классическом понимании существуют по отдельности, а в квантовом мире – одновременно. С увеличением числа кубитов информационное пространство возрастает в  $2^n$  раз, где  $n$  – число кубитов [3]. Это может свидетельствовать о колоссальном приросте в скорости обработки информации, однако для использования процессора, построенного на нескольких кубитах, необходимо создание специальных квантовых алгоритмов. Перспективность данной идеи оказалась очень привлекательной для многих приложений, в частности для кодирования информации, вследствие чего возник большой интерес к созданию квантового компьютера.

Законы квантовой механики работают универсальным образом и описывают физику совершенно разных систем. Кубиты можно создать на основе фотонов [4], квантовых точек [5], одним из интересных направлений является использование дефектов кристалла: вакансий в алмазе, дефектов в карбиде кремния [6]. Основная проблема – время жизни кубита. Это связано с тем, что он взаимодействует с внешней средой и находится под воздействием внешних полей, и состояние, в котором он находился в момент начала вычисления, забывается. Этот процесс называется процессом декогерентности [2]. Однако в этой области однозначно определился лидер – это кубит на сверхпроводниках.

“Транзистором” для сверхпроводников является джозефсоновский переход, в основе функционирования которого лежит эффект Джозефсона [7]. Данный элемент представляет собой трехслойную структуру, состоящую из двух слоев сверхпроводника, разделенных тонким слоем диэлектрика. Кубит на сверхпроводниках – это сверхпроводящее тонкопленочное кольцо, включающее в себя два или три джозефсоновских перехода. С точки зрения квантовой механики этот кубит представляет собой рукотворное творение атома. У него существуют два состояния, которые одновременно сосуществуют в этой системе [2].

С начала 21 века ведутся активные научно-исследовательские и инженерные работы по созданию процессора, построенного на сверхпроводящих кубитах. Перешедшему в 2014 году в компанию Google Джону Мартинису со своей командой удалось создать процессор из 9 связанных кубитов. В настоящий момент перед ними стоит серьезная задача по созданию чипа, построенного на 49 связанных кубитах, производительность которого будет превосходить все существующие на данный момент суперкомпьютеры [8].

### Заключение

Идея создания квантового компьютера зародилась в конце прошлого века. Ученые посвятили большое количество времени исследованиям квантовых эффектов, на базе которых возможно построение данного устройства. На сегодняшний день технических проблем создания квантового компьютера осталось много, но принципиальных почти не осталось. Это означает лишь одно: еще несколько лет назад считающееся мифом вычислительное устройство, использующее явления квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для передачи и обработки данных, в ближайшее время может стать реальностью.

### Литература

1. *Rojas R., Hashagen U.* The first computers: History and architectures. – MIT press, 2002.
2. *Clarke J., Wilhelm F. K.* Superconducting quantum bits //Nature. – 2008. – Т. 453. – №. 7198. – С. 1031-1042.
3. *Dür W., Heusler S.* What we can learn about quantum physics from a single qubit // arXiv preprint arXiv:1312.1463. – 2013.
4. *Kiesel N. et al.* Experimental analysis of a four-qubit photon cluster state // Physical Review Letters. – 2005. – Т. 95. – №. 21. – С. 210502.
5. *Loss D., DiVincenzo D. P.* Quantum computation with quantum dots //Physical Review A. – 1998. – Т. 57. – №. 1. – С. 120.
6. *Koehl W. F. et al.* Room temperature coherent control of defect spin qubits in silicon carbide // Nature. – 2011. – Т. 479. – №. 7371. – С. 84-87.
7. Эффект Джозефсона. Учебно-методическое пособие / Сост. Я.В. Фоминов, Н. М. Щелкачëв // М.: МФТИ. – 2010.
8. *Courtland R.* Google aims for quantum computing supremacy [News] // IEEE Spectrum. – 2017. – Т. 54. – №. 6. – С. 9-10.

### УДК 532.5.011

#### МИКРОФЛЮИДНЫЕ ЧИПЫ

Екатерина Артуровна Севрюгина

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С. В. Сидорова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Микрофлюидные чипы – это устройства, которые позволяют описать поведение малых, порядка микро- и нанолитра, объемов жидкостей.

У данной технологии есть ряд преимуществ, которые делают ее перспективным направлением на многие годы вперед: низкий расход реагентов для исследования; высокая точность управления температуры, концентрации и смешивания жидкостей; высокое значение отношения площади поверхности к объему исследуемой жидкости или газа, что приводит к быстрой передаче тепла; получение высокоточных результатов; высокая чувствительность; маленькие размеры исследовательского оборудования; более высокая



безопасность при заборе материала; уменьшение длительности и снижение стоимости исследования.

Назначение у микрофлюидных чипов может быть различным, в зависимости от области их применения. Например, в медицине микрофлюидные чипы, основанные на эффекте электросмачивания, используются для исследования белков, секвенирования ДНК, количественного анализа ДНК и РНК. В химии – в качестве микрореакторов, например, для изучения кинетики реакций.

Существует большое количество методов получения данных чипов, которые зависят от материала основания и способа изготовления штампа или вставки. Это позволяет использовать под их основу различные типы материалов. Наш эксперимент будет базироваться на двух методах, для которых, в большинстве случаев, используется кремний.

Кроме кремния в производстве микрофлюидных чипов используются преимущественно полимеры, реже стекло, иногда металлы и керамика. В число наиболее часто используемых полимеров входят полиметилметакрилат, циклоолефиновый сополимер, полиметилсилоксан, полиэфирэфиркетон. Материал существенно влияет на параметры модулей.

Для производства микрофлюидных чипов на разных этапах их создания применяются в том числе методы нанолитографии и технологии тонких пленок. Одним из ключевых этапов формирования структур микрофлюидных чипов является создание металлизированных слоев размерами от 5 до 50 нм из титана, хрома и золота.

Для отработки операций создания металлизированных слоев микрофлюидных чипов применены методы вакуумного нанесения тонких пленок: дуговое осаждение, термическое испарение и магнетронное распыление. Для всех методов рекомендуется построение математических моделей толщин полученных покрытий в зависимости не только от метода, но и от технологических параметров формирования: время и скорость нанесения покрытия, ток на источнике, скорость испарения/распыления материала и др.

Схемы методов, применяемых для эксперимента представлены на рис.1 и рис.2.

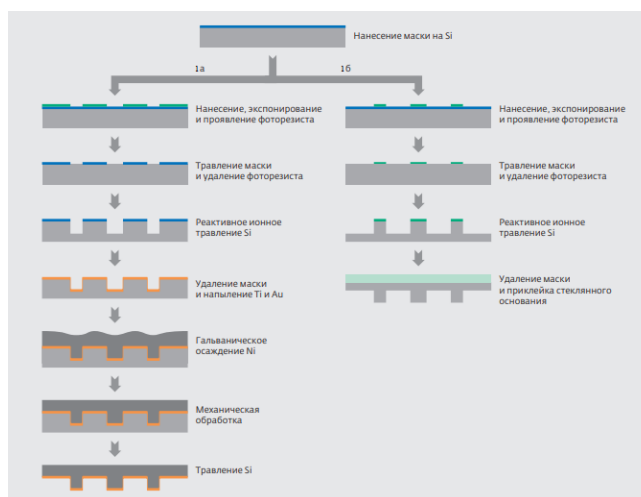


Рис. 1. Изготовление штампов 1 методом.

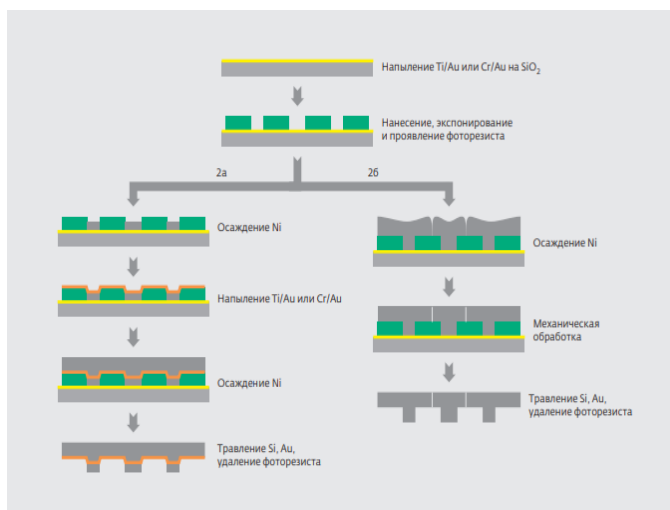


Рис. 2. Изготовление штампов 2 методом.

### Литература

1. Нусан А. Микрофлюидные модули: области применения и технологии производства // Электроника: НТБ, 2013, No. 5.
2. Becker H., Dietz W., Dannberg P. Microfluidic manifolds by polymer hot embossing for  $\mu$ -tas applications. – Proceedings of Micro Total Analysis Systems. D.J. Harrison, A. van den Berg (Eds.), Kluwer, 1998, p.253–256.

УДК 544.22, 621.38

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Александр Иванович Семочкин

Студент 3 курса, бакалавриат,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Беликов,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Одной из быстроразвивающихся областей современной нанoeлектроники являются двумерные материалы (2D), имеющие толщину от одного до нескольких атомных слоев. В современном мире, это самые тонкие из возможных полупроводников, проводников и изоляторов. Использование двумерных материалов обеспечит дальнейшую миниатюризацию устройств, применяемых в области нанoeлектроники.

2D материалы обладают уникальными свойствами: рекордно высокой теплопроводностью, большой механической прочностью высокой электропроводностью, а так же прозрачностью и гибкостью. Наиболее известным и изученным представителем двумерных материалов является графен. Структура графена представлена гексагональной кристаллической решеткой, толщиной в один атом углерода. Такие свойства графена, как высокая подвижность электронов, низкое удельное сопротивление и другие, открывают

перспективы для создания различных электронных датчиков, фотоэлектрических устройств для преобразования солнечной энергии, сенсорных экранов и др. На основе графена могут быть созданы высокочувствительные фотоплёнки. Высокая скорость распространения плазменных волн в исследуемом проводнике открывает перспективы создания источников и приемников терагерцового диапазона.

Ключевым и наиболее важным требованием к полупроводниковому материалу в нанoeлектронике является наличие запрещенной зоны. Атомарный слой графена вследствие отсутствия запрещенной зоны, не подходит для ряда применений в области электроники и оптики, поэтому в качестве других перспективных материалов в последнее время исследователями изучаются монослойные пленки на основе дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ). Дихалькогениды переходных металлов ( $NbSe_2$ ,  $MoS_2$ ,  $WS_2$ ,  $WSe_2$ ,  $TaS_2$  и др.) относятся к слоистым соединениям, кристаллы которых, как и графит, можно разделять на отдельные монослои. Дихалькогениды переходных металлов имеют сходное строение и химическую формулу  $(MX_2)_n$ , где М-это переходный материал (например, молибден или вольфрам), а X-халькоген (например, сера, селен или теллур) [1]. Толщина монослоя дисульфида молибдена  $MoS_2$  оценивается в 0.65 нм. Свойства зависят от структуры, толщины и меняются от металлических до полупроводниковых. В частности, показано, что с уменьшением толщины увеличивается ширина запрещенной зоны и при переходе от многослойной структуры к монослойной непрямая структура энергетических зон трансформируется и  $MoS_2$  становится прямозонным полупроводником [2], что проявляется в значительном усилении фотолюминесценции монослоев, обнаруженном для  $MoS_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $WS_2$ ,  $WSe_2$  [3].

Таблица 1. Свойства двумерных материалов

№ п/п	Двумерные материалы	Ширина запрещенной зоны, эВ	Подвижность носителя заряда $cm^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$	Тип
1	Графен ( $C_n$ )	0 [6]	20000-150000 [6]	Проводник (полуметалл)
2	Дисульфид молибдена ( $MoS_2$ )	1,2-1,8 [6]	200 -500 [10]	Полупроводник (диамагнетик)
3	Нитрид бора (h-BN)	3-7,5 [9]	1-7 [9]	Изолятор
4	Дисульфид вольфрама ( $WS_2$ )	1,4-2,26 [2]	50-150 [2]	Полупроводник
5	Диселенид Вольфрама ( $WSe_2$ )	1,71 -2,3 [2]	80-120 [2]	Полупроводник

Свойства наиболее широко исследуемых двумерных материалов приведены в таблице 1. Недавние эксперименты показывают возможности различных их применений, включая полевые транзисторы [4], низкоэнергетические переключатели, энергоёмкие устройства, устройства спинтроники и оптоэлектроники [5]. Возможно также применение монослойных пленок  $MoS_2$  в светодиодах, солнечной энергетике, устройствах флэш-памяти. Первыми стали исследовать транзисторы на основе дисульфида молибдена, изготовленные из монослоев этого материала. В транзисторных структурах были получены значения подвижности носителей заряда на уровне  $200-350 cm^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$ . Полевой транзистор с каналом из  $MoS_2$ , подзатворным диэлектриком из BN и затвором из графена был собран и исследован в работе [6]. Как показали результаты эксперимента, прозрачность таких структур достигает 95%.

Транзисторы с каналом из  $\text{MoS}_2$  могут быть использованы и в области гибкой электроники, способны заменить элементы логики на гибких дисплеях. Полученная в работе [6] подвижность носителей в транзисторах на гибкой подложке и их прозрачность являются рекордными, по сравнению с достижимыми в настоящее время подвижностью  $4\text{--}12 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  и прозрачностью 60% [7]. В работе [8] показана возможность создавать гетероструктуры на основе слоев  $\text{WS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$  или  $\text{MoS}_2$  для фотоэлементов с высоким внутренним квантовым выходом (отношение количества разделенных электронно-дырочных пар к количеству упавших фотонов). В наноплазмонике носители заряда генерируются лазером в слое полупроводника ( $\text{WS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$  или  $\text{MoS}_2$ ) и, в случае приложенного к структуре напряжения, происходит разделение носителей и накопление их в разных слоях графена. Внутренний квантовый выход для структур графен/ $\text{WS}_2$ /графен составляет 0.2–0.3 при мощности возбуждающего лазера до 10 мкВт. Двумерные материалы могут быть использованы для создания гетероструктур, обладающих эффектом памяти. Гетероструктуры на основе графена, дихалькогенидов переходных материалов и, особенно, вертикальные гетероструктуры рассматриваются в настоящее время как основное направление развития тонкопленочной электроники. Для вертикальных гетероструктур на основе двумерных материалов введено специальное название – Ван-Дер-Ваальсовы гетероструктуры, так как предполагается их формирование последовательным перенесением слоев, когда слои в единой структуре будут удерживаться только за счет сил Ван-дер-Ваальса. Важным достижением разрабатываемых гетероструктур является демонстрация возможностей новых физических подходов и новых принципов построения приборных структур, отличных от традиционных подходов в кремниевой электронике, когда ограничение в использовании графена для создания транзисторов из-за отсутствия запрещенной зоны может преодолеваться благодаря конструктивным решениям.

На основании приведенного анализа можно сделать вывод о том, что существенный прогресс, наблюдаемый в последнее время в разработке, создании и исследовании устройств нанoeлектроники на основе двумерных материалов отражает широкие возможности и перспективы развития этого направления. Дальнейший прогресс зависит, с одной стороны, от разработки устройств с применением 2D материалов, а с другой – развитием методов получения ультратонких и монослойных материалов.

### Литература

1. *K.F. Mak, M.Y. Sfeir, Y. Wu, C.H. Lui, J.A. Misewich, T.F. Heinz.* Phys. Rev. Lett., Seeing electrons in two dimensions: Optical spectroscopy of graphene // Solid State Communications 2012. Vol.152, pp.1341-1349. DOI:10.1016/j.ssc.2012.04.064.
2. *R. Gordon, D. Yang, E. Crozier, D. Jiang, R. Frind.* Phys. Rev. B, Tunable nonlinear refractive index of two-dimensional  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$ , and  $\text{MoSe}_2$  nanosheet dispersions // Photonics Research. 2015. Vol.3, pp.A51-A55. DOI:10.1364/PRJ.3.000A51.
3. *W. Zhao, Z. Ghorannevis, L. Chu, M. Toh, C. Kloc, P.-H. Tan, G. Eda.* Evolution of electronic structure in atomically thin sheets of  $\text{WS}_2$  and  $\text{WSe}_2$  // Optical Materials Express 2017. Vol.7, pp.1180-1187. DOI:10.1364/OME.7.003998.
4. *Eugene S. Kadantsev, Pawel Hawrylak.* Electronic structure of a single  $\text{MoS}_2$  monolayer // Solid State Communications, 2012. Vol.152, pp.909-913. DOI:10.1016/j.ssc.2012.02.005.
5. *Q.H. Wang, K. Kalantar-Zadeh, A. Kis et al.,* Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides // Nat. Nanotechnol. Vol.7, pp.699-712. DOI:10.1038/nnano.2012.193.
6. *G.-H. Lee, Y.-J. Yu, X. Cui, N. Petrone, C.-H. Lee, M.S. Choi, D.-Y. Lee, C. Lee, W.J. Yoo, K. Watanabe, T. Taniguchi, C. Nuckolls, P. Kim, J. Hone.* Optical identification of  $\text{MoS}_2$ /graphene

heterostructure on SiO<sub>2</sub>/Si substrate //Optic Express.Vol.22,pp.15969-15974.

DOI:10.1364/OE.22.015969.

7. J. Pu, Y.J. Zhang, Y. Wada, J.T.W. Wang, L.J. Li, Y. Iwasa, T. Takenobu., Effects of substrates on the nonlinear optical responses of two-dimensional materials //Optic

Express, Vol.23, pp.31817-31827. DOI:10.1364/OE.23.031817. .

8. L. Britnell, R.M. Ribeiro, A. Eckmann, R. Jalil, B.D. Belle, A. Mishchenko, Y.-J. Kim, R.V. Gorbachev, T. Georgiou, S.V. Morozov, A.N. Grigorenko, A.K. Geim, C. Casiraghi, A.H. Castro Neto, K.S. Novoselov., Strong Light-Matter Interactions in Heterostructures of Atomically Thin Films// Science Vol.340, pp.1311-1314. DOI:10.1126/science.1235547

9. M. V. Serzhantova, A. A. Kuzubov, A. S. Fedorov, F. N. Tomilin, P. O. Krasnov Theoretical study of the influence of deformation on the electronics structure of a Hexagonal Boron Nitride Monolayer. 2011. 14. 515.

**УДК 621.793.182**

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТОДА ВЫСОКО-ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

Антон Вадимович Сиков

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И.Беликов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Одной из актуальных проблем в современном мире является повышение надежности деталей, машин и механизмов. Решение заключается в тонкопленочных покрытиях, обладающих уникальными свойствами. Различного рода пленки способны увеличить износостойкость, прочность, твердость, коррозионную стойкость деталей. Свойства покрытий и качество их нанесения зависит от особенностей вакуумной и распылительной систем, характеристик и режима работы источника питания, а также метода нанесения покрытия.

Магнетронное нанесение тонких пленок относится к ионно-плазменному методу нанесения, что подразумевает выбивание частиц напыляемого материала (распыление катода-мишени) ионами рабочего газа (обычно аргона Ar). Также может осуществляться реактивное напыление посредством напуска кислорода O<sub>2</sub> или азота N<sub>2</sub>. Магнетронная распылительная установка состоит из вакуумной камеры, катода-мишени с системой охлаждения, анода, источника питания, магнитной системы и системы напуска газа. В качестве источников магнитного поля широко используются несбалансированные магнетроны, отличие которых в наличии дополнительного “аксиального” магнитного поля, оттекающего от мишени к подложке [1]. Благодаря такому магнетрону возможно увеличить расстояние от мишени до обрабатываемого объекта, тем самым увеличить “эффективную” зону нанесения покрытий (возможно наносить покрытия на изделия больших размеров) [2].

Магнетронное нанесение покрытий может осуществляться на различных режимах источника питания: в режиме постоянного тока (DC), импульсном либо высокоимпульсном режимах (HIPIMS). Наиболее перспективный метод – HIPIMS (с англ. - High-Power Impulse Magnetron Sputtering). Суть метода заключается в подаче высокой

мощности на катод в коротких импульсах, что предотвращает перегрев и расплавление мишени [3].

HIPIMS обладает рядом преимуществ: во-первых, благодаря импульсам высокой мощности повышается плотность ионов около мишени, а значит, повышается интенсивность ионного воздействия. Это даёт возможность наносить “трудные” покрытия (например, нитриды и карбиды металлов TiC, TiN, ZrN) [2]. Во-вторых, значительно уменьшается термическое воздействие и на мишень, и на объект напыления, что позволяет использовать материалы со слабой устойчивостью к высокой температуре. Третье преимущество заключается в ионизации самого распыляемого материала. Ионизированные частицы мишени можно использовать для предварительной обработки перед нанесением покрытия для усиления адгезии. Еще одним преимуществом метода высоко-импульсного магнетронного нанесения тонких пленок является отсутствие микрокапельной фазы: покрытие строится только на атомарном уровне – это также усиливает адгезию [3]. Технология HIPIMS отличается относительной легкостью масштабирования, то есть может использоваться в промышленных масштабах [1].

Нанесение тонких пленок методом высоко-импульсного магнетронного напыления применяется в авиакосмической, автомобильной и медицинской промышленности. Например, напыляются антикоррозионные и износостойкие покрытия TiAlCN/VCN (на ортопедические имплантаты, сверла), CrAlYN/CrN (детали в авиационно-космических и автомобильных двигателях).

Таким образом, метод высоко-импульсного магнетронного нанесения тонких пленок является перспективным и активно изучаемым методом, который нашел применение во многих отраслях промышленности.

### **Литература**

1. Нанесение покрытий с использованием несбалансированных магнетронов // Элан-Практик. Режим доступа: <http://www.elanpraktik.ru/wp-content/uploads/2017/12/Nanesenie-pokrytijj-s-ispolzovaniem-nesbalansirovannykh-magnetronov.pdf> (дата обращения: 14.03.2018).
2. Агабеков Ю.В., Сутырин А.М. Несбалансированные магнетронные распылительные системы с усиленной ионизацией плазмы // Постоянно действующий научно-технический семинар “Электровакуумная техника и технология”: тр. Т. 1. М., 1999. С. 102-108.
3. Кирюханцев-Корнеев Ф.В., D.Horwat, J.F.Pierson, Е.А.Левашов Сравнительный анализ покрытий Cr-V, полученных с помощью магнетронного напыления при постоянном токе и в режиме высокоомощного импульсного распыления // Письма в ЖТФ . 2014. №14. С. 1-2.

**УДК 543.271**

**УДК 533.5.08**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Сунь Линмо

*Магистр 1 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

Перспективное применение электрореологических жидкостей для гидравлических систем (гидроприводы роботов, тормоза, муфты сцепления и др.) связано с разработкой и внедрением принципиально новых подходов, сочетающих высокоэффективные способы управляемого внешнего воздействия на используемые материалы с возможностью применения их уникальных свойств.

Наиболее распространены в практическом использовании дисперсные электрочувствительные среды. Они включают твердую фазу в виде тонкодисперсных частиц, диэлектрическую жидкость и, как правило, добавки, повышающие электрореологическую чувствительность и стабильность композиций. В работе приведен обзор многочисленных работ по химическим и физико-химическим основам создания электрореологических жидкостей. [1]

Внешнее электрическое поле является фактором, создающим структурные изменения, превращающие жидкий образец в упруго-вязкопластичное тело. Под действием электрического поля в электрореологических жидкостях при сдвиговом течении возникают касательные и нормальные напряжения. Вибро-вискозиметрические измерения показали увеличение упругих сил в электрореологических жидкостях с ростом электрического воздействия [2]. При этом особенности и закономерности этих превращений остаются пока малоизученными [3].

Напряженно-деформированное состояние в силу наличия структурных изменений отличается сложным деформационным полем, особенностью которого является появление деформации в нормальном направлении. В литературе имеются неоднозначные результаты в оценке знака первой разности нормальных напряжений, возникающих под действием электрического поля. В экспериментах по изучению структурно-реологических свойств, в основном, реализуется сдвиговая деформация, которая при достижении некоторого напряжения сдвига превращается в пластическую деформацию. Возникает также вопрос о величине пластической вязкости и ее изменении при деформации в тех же условиях.

Электрореологический эффект представляет собой быстрое обратимое изменение вязкости дисперсий порошков разнообразных материалов в диэлектрических жидкостях при наложении внешних электрических полей. Благодаря многообещающим перспективам практического применения в разнообразных электроуправляемых устройствах – демпферах, клапанах, жидкостных муфтах сцепления и многих других, электрореологический эффект интенсивно исследуется.

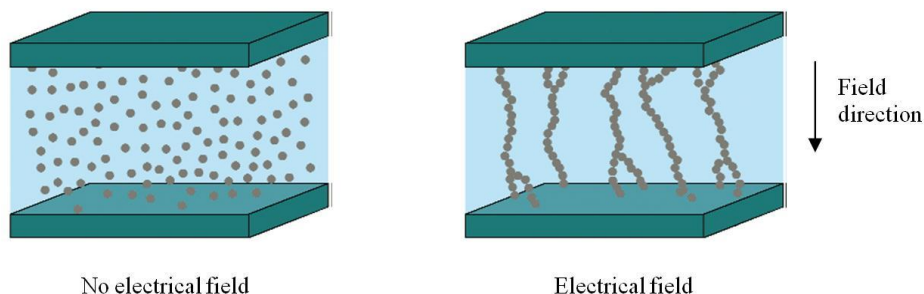


Рис. 1. Электрореологический эффект

Пневмогидропривод с электрореологическим управлением сочетает в себе плюсы гидравлического и пневматических приводов, при этом с помощью изменения вязкости

электрореологической жидкости, даёт возможность управлять скоростью перемещения штока.

Данный тип привода может быть применён в установке для абразивной резки кремниевых пластин в качестве привода механизма сканирования сопел.

Постоянство скорости сканирования сопел прямым образом влияет на качество и выход годных кристаллов, которые используются для производства диодов, который крайне востребованы в промышленности.

### Литература

1. Шульман З.П., Коробко Е.В., Левин М.Л. Электрореологические жидкости, состав и основные свойства. Мн., 2001. 75 с. - (Препринт / ГНУ «ИТМО им. А.В.Лыкова» НАНБ, №4).
2. Коробко Е.В. Электроструктурирование электрореологической жидкости: особенности гидромеханики и возможности использования. Мн., 1996. 189 с.
3. Pan X.P., McKinley G.H. // *Langmuir*. 1998, V.14. Pp.985-989.

УДК 776.19

## ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОГО ПОЗИТИВНОГО ФОТОРЕЗИСТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО РЕЛЬЕФА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Валерия Васильевна Сутакова<sup>(1)</sup>, Георгий Игоревич Шиянов<sup>(1)</sup>,  
Анастасия Владиславовна Нечипоренко<sup>(2)</sup>, Никита Сергеевич Смирнов<sup>(2)</sup>

Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, магистрант 1 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,  
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

3D-MID (объемная схема на пластике) представляет собой 3D основание из литого высокотемпературного термопласта, на котором выполнены 3D проводники и контактные площадки. 3D-MID-технология обеспечивает высокую гибкость проектирования за счет возможности интеграции электронных, механических и оптических элементов, широких возможностей относительно формы устройства, его миниатюризации. Среди других преимуществ данной технологии стоит отметить меньшее число входящих в состав элементов конструкции, повышенную надежность, меньшую материалоемкость [1]. Токпроводящие проводники в 3D-MID-технологии могут быть получены как за счет лазерного структурирования поверхности специальных пластиков с последующим восстановлением металла, так и за счёт травления металлического покрытия.

Помимо объемных схем на пластике и различных видов декоративной продукции с металлическими рисунками на поверхности существует потребность в рефлекторах для твердотельных лазеров с диодной накачкой [2]. Зеркальный отражатель для осевой накачки представляет собой сапфировый или кварцевый цилиндр с тонкопленочным покрытием из серебра (реже золота, алюминия или меди).



На поверхности отражающего покрытия посредством сочетания операций фотолитографии и травления сформированы окна (см. рис.1).



Рис.1. Отражатели с серебряным покрытием для лазеров с диодной накачкой [2]

Для осуществления размерного травления окон на цилиндрических поверхностях предварительно необходимо сформировать защитный рельеф. Криволинейность поверхности накладывает ограничение на применяемые для этого материалы, а также способы их нанесения и экспонирования. Рекомендуется применять жидкие фоторезисты с динамической вязкостью до 250 сП, наносимые методом аэрозольного распыления [3]. Экспонирование предлагается делать с применением пленочных фотошаблонов, фиксируемых на цилиндрической поверхности, с последующим всесторонним засвечиванием излучением необходимого спектра.

В ходе эксперимента при формировании защитного рельефа на цилиндрической поверхности использовался жидкий позитивный фоторезист Positiv 20, нанесенный аэрозольным методом. Экспонирование выполнялось на установке двухстороннего экспонирования Mega Electronics AZ210, после модернизации способной работать с объемными заготовками.

Для подбора режима экспонирования и проявления фоторезиста Positiv 20 были проведены эксперименты на плоских подложках. Исходя из полученных результатов, были составлены следующие рекомендации:

- Для обеспечения равномерного по толщине покрытия, жидкий фоторезист следует распылять непрерывными зигзагообразными движениями, на подложку, находящуюся в вертикальном положении, с расстояния 20 см.
- Рекомендуемая температура сушки в термостатическом лабораторном сушильном шкафу составляет 60-70 °С в течение 20 минут.
- Оптимальным временем экспонирования при толщине 8 мкм является 30 с.
- Для проявления используется 1%-й водный раствор NaOH, время проявления лежит в пределах от 30 до 60 с.
- Снятие фоторезиста осуществляется в изопропиловом спирте.

Опираясь на составленные рекомендации по применению жидкого позитивного фоторезиста, был проведен процесс фотолитографии на кварцевом цилиндре. При использовании Positiv 20 невозможно обеспечить равномерную толщину из-за стекания жидкого фоторезиста на нижнюю часть цилиндра. Экспонирование проводилось в течение 30 с, т.к. этого времени достаточно для деструкции фотополимера под действием излучения на всю глубину. Результат эксперимента представлен на рис. 2.

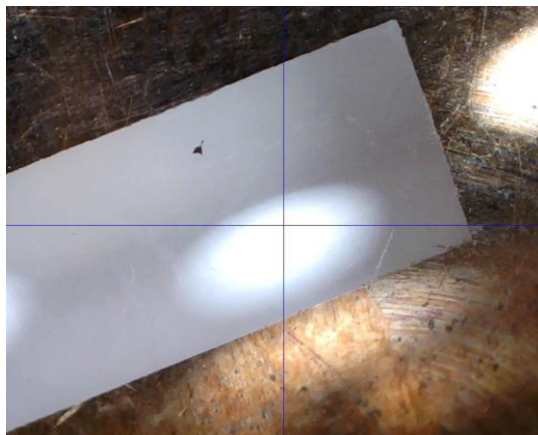


Рис.2. Окно в тонкой медной пленке на цилиндрической поверхности

Анализируя полученные результаты, был сделан вывод, что жидкий фоторезист в сочетании с ручным методом аэрозольного распыления можно применять для получения защитного рельефа на криволинейных поверхностях. При нанесении жидкого фоторезиста нужно обращать внимание на чистоту поверхности, на которую будет нанесен слой, распылять следует непрерывными зигзагообразными движениями, с расстояния 20 см. Толщину полученной плёнки можно оценить по его цвету. Время экспонирования подбирать в соответствии с полученной толщиной пленки.

#### **Литература**

1. Антон Нисан. 3D-MID: области применения и технологии производства // Поверхностный монтаж. 2011. №3 С. 10-13.
2. LT-PYRKAL [Сайт]: Specular Reflectors for DP Lasers – Режим доступа: <http://www.lt-pyrkal.com/en/products/optics/9> (дата обращения: 14.03.18).
3. Боброва Ю. С., Андроник М. Нанесение жидких фотополимеров высокой вязкости // Технологии в электронной промышленности, 2017. – №3. – С.18-34.

**УДК 621.793.182**

### **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЙ MoS<sub>2</sub> В СТРУКТУРАХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Владимир Викторович Тетерин

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И.Беликов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В современном мире существует множество механизмов с трущимися деталями. От поверхностных покрытий таких деталей зависит множество характеристик механизма, от коэффициента полезного действия до долговечности. В связи с этим актуальны задачи

повышения характеристик покрытий путем улучшения характеристик существующих материалов или поиска новых.

Существует не так много материалов, которые могут иметь высокие смазочные и стабильные свойства вплоть до температур в 350 °С в окислительных средах, а также в вакууме.

В этой сфере широко применяются тонкопленочные покрытия, призванные улучшить прочность, долговечность и антифрикционные характеристики поверхностей. Из этого класса выделяются твердосмазочные покрытия, обеспечивающие крайне низкий коэффициент трения и способные долгое время работать без заметного истирания.

Один из материалов для таких покрытий — дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), который хорошо себя зарекомендовал как основа антифрикционного покрытия. Для улучшения характеристик подобных покрытий в их состав вводят другие материалы, формируя различные композитные структуры. В этой области проводится множество исследований, постоянно предлагающих новые материалы с использованием  $\text{MoS}_2$ .

Применение покрытий на основе  $\text{MoS}_2$  в парах трения увеличивает срок службы изделия в 10 - 20 раз, а с внедрением наноразмерных структур открывает уникальные возможности для получения нового уровня свойств: высокой прочности, долговечности, износостойкости, достаточно высокой пластичности при сохранении высоких эксплуатационных свойств изделий[1]. Также важным качеством  $\text{MoS}_2$  является его низкая стоимость.  $\text{MoS}_2$  встречается в природе в виде минерала, добыча которого не представляет серьезных проблем, что обеспечивает его доступность.

В работе рассмотрены композиционные покрытия на основе  $\text{MoS}_2$ , обладающие повышенными трибологическими характеристиками в атмосферных условиях[2], покрытие с включениями фазы  $\text{MoS}_2$ , концентрация которой возрастает к поверхности детали[3], двухслойные покрытия, разработанные для повышения работоспособности подшипников скольжения[4], многослойные покрытия, содержащие слои из хрома с добавками  $\text{MoS}_2$ [5], покрытия системы Cu-Mo-S, обладающие повышенной износостойкостью[6] и эпоксидные углепластики, модифицированные микрочастицами  $\text{MoS}_2$ [7]. Проведен анализ свойств, особенностей применения, структур рассмотренных покрытий.

## Литература

1. *В.В. Иванов, А.С. Малахов, И.В. Микуцкий* Твердосмазочное покрытие  $\text{MoS}_2$  сформированное в условиях вибрационных технологических систем // Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017 с.46-52
2. *Беликов А. И., Дмитриев А. М., Калинин В. Н., Никонов И. И., Барсуков Н. М.* 77-30569/229269 Исследование трибологических свойств тонкопленочных покрытий, формируемых методом магнетронного распыления композитной мишени Ti+ $\text{MoS}_2$  // Наука и образование: Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана eISSN 2587-9278 — 2011, № 13 с.26.
3. *Г. В. Москвитин, Е. М. Биргер, А. Н. Поляков, Г. Н. Полякова* Наукоемкие технологии нанесения упрочняющих покрытий // Металлообработка ISSN: 1684-6702 – 2015, № 1 (85) с. 44-49.
4. *А. П. Перекрестов, В. А. Чанчиков* Способы повышения работоспособности подшипников скольжения // Вестник астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология ISSN 2073-1574 eISSN 2225-0352 – 2010, № 1 с. 147-152.

5. *А.Ф.Ильющенко, М.А. Андреев, Л.В. Маркова, Ю.О. Лисовская* Многослойные наноструктурные покрытия, сформированные методом ионно-лучевого распыления в вакууме // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. серыя фізіка-тэхнічных навук ISSN 1561-8358 – 2013, №2 с.10-20.
6. *Жарков С.Ю., Калашиников М.П., Сунгатулин А.Р., Сергеев В.П.* Триботехнические покрытия CU-MO-S, полученные импульсным магнетронным распылением // Перспективные материалы в технике и строительстве: ПМТС 2015 Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2015 с.297-300
7. *В. В. Рыбин, В. Е. Бахарева, А. В. Анисимов, А. С. Савелов* Нано- и микромодификаторы антифрикционных углепластиков // Журнал вопросы материаловедения ISSN 1994-6716 - 2009, № 3(59) с. 229-241.

**УДК 621.7.08**

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИН ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ**

Селби Хыдырова<sup>(1)</sup>, Денис Дмитриевич Васильев<sup>(2)</sup>

*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3 года<sup>(2)</sup>,*

*Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Толщина тонкой пленки оказывает значительное влияние на структуру и свойства пленки, такие как удельное электрическое сопротивление [1], коэффициент отражения и другие, что обуславливает необходимость измерения и контроля толщины наносимой пленки для обеспечения необходимых свойств.

Для измерения толщины пленки применяют различные методы, в том числе оптические (интерферометрический, профилометрический) и гравиметрические (микровзвешивание).

Метод пьезоэлектрического микровзвешивания относится к неразрушающим методам контроля толщины тонких пленок и широко применяется в датчиках толщины благодаря таким преимуществам по сравнению с другими методами, как высокая чувствительность кварцевых датчиков толщины [2], возможность контроля толщины пленки в процессе ее нанесения, отсутствие разрушения нанесенной пленки, а также экономическая доступность кварцевых резонаторов и генераторов [2].

В основе указанного метода лежит обратный пьезоэлектрический эффект, который заключается в колебании кварцевой пластины при приложении к ней переменного напряжения [3], [4]. Уменьшение собственной частоты колебаний кварцевого резонатора согласно уравнению Зауэрбрея [5] прямо пропорционально массе нанесенного на кварцевый резонатор слоя. Данное соотношение позволяет определить толщину пленки при известной плотности материала.

Целью работы является изучение и апробация метода пьезоэлектрического микровзвешивания.

В лаборатории кафедры МТ-11 «Элионные процессы и нано технологии» проведен эксперимент по нанесению пленки ИТО толщиной 100 нм на установке

ВУП-11М. Кварцевый резонатор закреплен на подложкодержателе. Остаточное давление в камере составляло  $1,7 \cdot 10^{-2}$  Па, рабочее давление  $20 \cdot 10^{-2}$  Па. Подложкодержатель расположен на расстоянии 124 мм от мишени. Мощность магнетрона 120 Вт, частота 15 кГц. Коэффициент заполнения импульса равен 0,8. Выбор режима обусловлен известной при данных параметрах скорости осаждения ИТО 20,42 нм/мин. Для формирования пленки толщиной 100 нм время нанесения составляет 4 минуты 54 секунды.

Для измерения частоты кварцевый резонатор соединяется с генератором, подключенным к источнику постоянного напряжения, выводы генератора соединены с частотомером. Собственная частота резонатора измерялась до нанесения ИТО и составила  $f_0 = 10,00044$  МГц, а после нанесения –  $f'_0 = 9,98430$  МГц.

Толщина напыленного слоя, определенная из уравнения Зауэрбрея, составила 100,205 нм.

В результате проведенного эксперимента с помощью метода пьезоэлектрического микровзвешивания получено значение толщины нанесенной пленки ИТО 100,205 нм, что менее на 1% отличается от предварительно рассчитанного из скорости осаждения значения 100,058 нм.

На основании проведенного анализа методов измерения тонкопленочных покрытий можно сказать, что метод пьезоэлектрического микровзвешивания обладает такими преимуществами перед альтернативными, как высокая чувствительность, простота реализации, низкая стоимость оборудования и возможность измерения во время процесса осаждения. В результате проведенного эксперимента измеренная толщина пленки отличается менее чем на 1% от предварительно рассчитанной из скорости осаждения.

### Литература

1. *Быков Ю.А., Карпухин С.Д., Газукина Е.И.* О некоторых особенностях структуры и свойств металлических "тонких" плёнок // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2000. № 6. С.45-47.
2. *Малов В.В.* Пьезорезонансные датчики. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с
3. *Methods and Phenomena. Vol. 7. Applications of Piezoelectric Quartz Crystal Microbalances / edited by C. Lu, A.W. Czanderna.* Elsevier, 2012. 408 p.
4. *Технология тонких пленок: справочник. В 2 т. Т. 1. / ред. Л.Майссел, Р.Глэнг.* Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. М., «Советское радио», 1977. 664 с. [Handbook of Thin Film Technology / edited by L.I.Maissel, R.Glang. New-York. McGraw-Hill, 1970. 800 p.]
5. *Sauerbrey G.* Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung // *Zeitschrift fuer Physik.* Vol. 155. 1959. pp. 206-222.

УДК 30.19.27, 47.13.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЗИЦИОНИРУЮЩЕГО И ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕГО СТОЛА НА ОСНОВЕ МР ЭЛАСТОМЕРА

Цяо Цзюньтао

*Магистр 1 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

В настоящее время существует большой спектр производственного и лабораторного вакуумного оборудования, которое предъявляет высокие требования к параметрам окружающей среды. В частности, к уровню внешних вибрационных возмущений. В технологических процессах вибрации негативно сказываются на точности изготовления изделий или на точности метрологического оборудования [1].

Данная статья посвящена исследованию стол позиционирующего и виброизолирующего, в которой для защиты от вибраций и для точного позиционирования используются активные демпферы на основе магнитоэластических (МЭ) материалов. Основные характеристики платформы активной виброизоляции: диапазон перемещения платформы, обусловленный воздушным зазором между катушкой и подвижным сердечником, составляет 1мм, точность позиционирования – 0,1 мкм. Нагрузочная способность – до 100Н. Платформа для активной виброизоляции на основе МЭ демпферов может быть использована также как привод точного позиционирования. В основе конструкции платформы – четыре демпфера на основе МЭ эластомеров[2]

На кафедре в лаборатории Михайлова В.П. был собран экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 1.

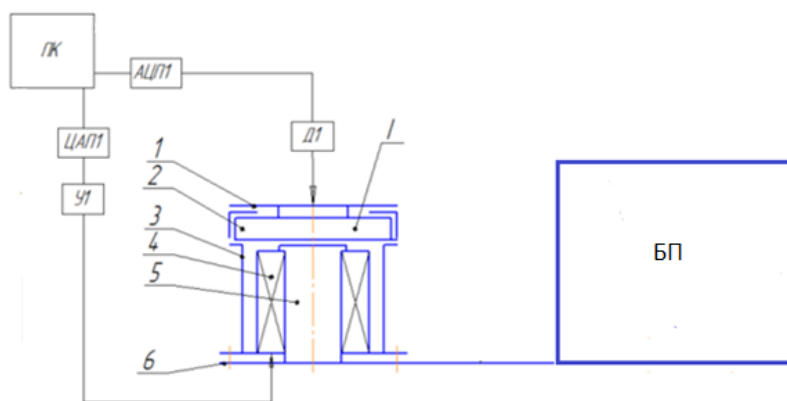


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда для измерения тока трогания:

В процессе работы был собран первый прототип 3-х координатного позиционирующего стола с системой автоматизированного управления. Проведены испытания позиционирующего стола с САУ, а также одного из его приводов.

В результате были получены графики, дающие представление о характере и продолжительности переходных процессов в приводе для двух режимов работы.

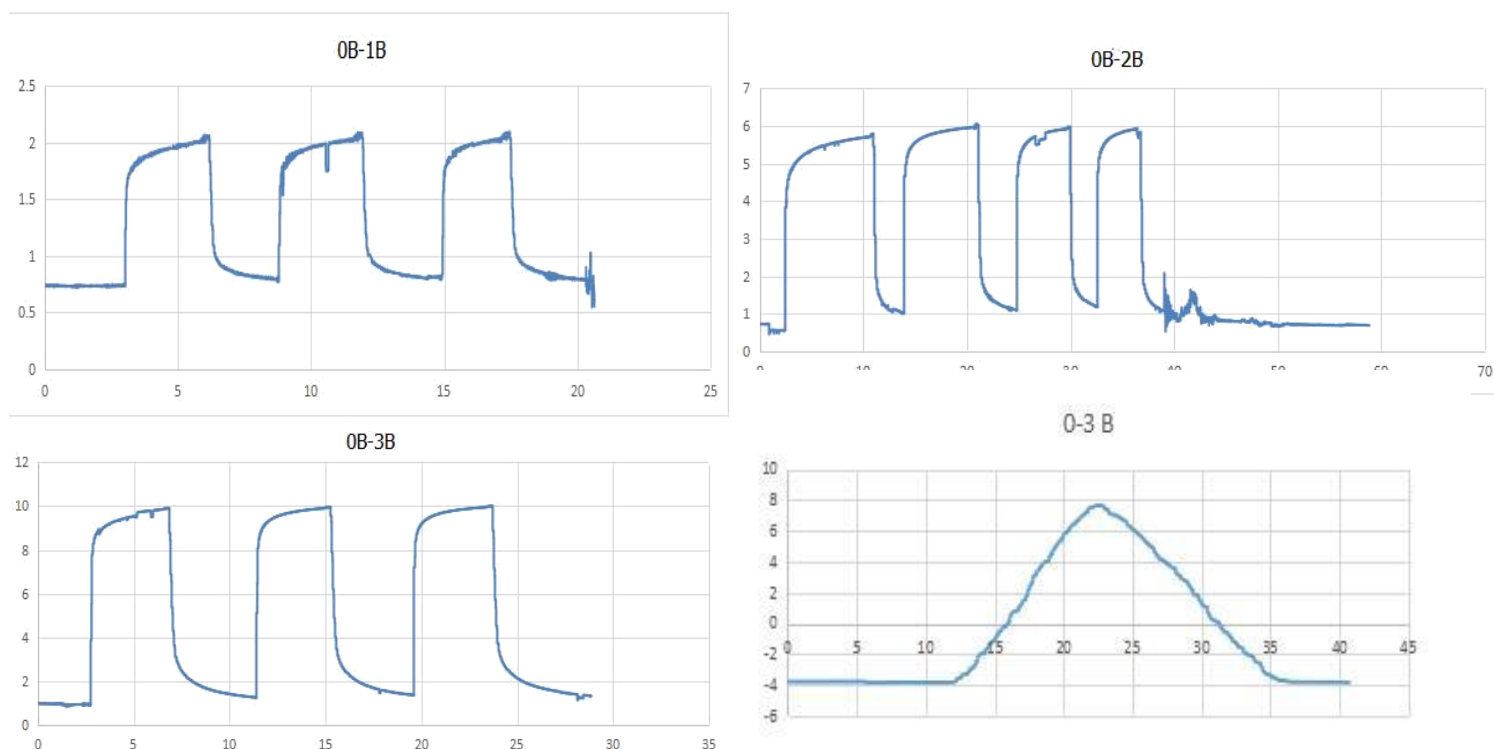


Рисунок 2 – Зависимости перемещения от времени при подаче значений управляющего напряжения 1, 2 и 3 В соответственно и зависимость перемещения от времени в следящем режиме

В ходе данной научной работы была изготовлена и испытана система автоматизированного управления для позиционирующего стола на основе МР-эластомера. Были получены графики переходного процесса для пошагового режима.

#### Литература

1. Механика и физика точных вакуумных механизмов / А.Т. Александрова, Н.С. Вагин, Н.В. Василенко и др.; под ред. Е.А. Деулина. В 2 т. М.: НПК «Интелвак»; Вакууммаш, 2002. Т. 2. 152 с.
2. Управление активной виброизоляции и позиционированием магнитореологических устройств / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, А.М. Базиненков, И.К. Зобов, К.Г. Шаков. Нано- и микросистемная техника. - 2011. - №7. - С. 5 – 9.

УДК 53.084.823

### АНАЛИЗ И РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ ПЛАНАРНОЙ ОПАЛОВОЙ СТРУКТУРЫ

Полина Витальевна Ясакова

Студент 4 курса, бакалавриат

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана



*Научный руководитель: Е.В. Панфилова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Автоэмиссионные катоды являются перспективными источниками свободных электронов, используемых при создании катодолуминесцентных светоизлучающих элементов. Катоды для таких приборов должны обладать такими свойствами как оптимальная структура поверхности, которая обеспечивает значительное усиление электрического поля и равномерное распределение эмиссионных центров на поверхности автокатодов. Напряжённость электрического поля на поверхности автоэлектронного катода, в свою очередь, зависит от среднего поля в приборе, т.е. от отношения напряжения к величине зазора между катодом и анодом, и от формы эмиттера. Для увеличения напряжённости на поверхности эмиттеру придают заострённую форму – острия, кромки, нити, лезвия (рис.1), и, как правило, используют пакеты таких форм. Поэтому часто встречается такое понятие, как многоострийные автоэмиссионные катоды. Это связано с тем, что ток с одного острия, несмотря на огромную плотность, очень мал. Число острий при этом должно достигать десятков тысяч.

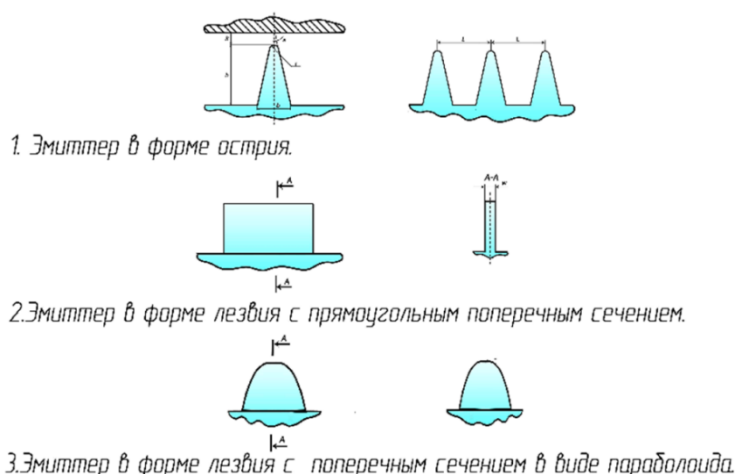


Рис. 1. Формы эмиттеров.

Плотность тока наметаллических автокатодах с плоским автоэмиттером значительно меньше, чем у катодов, имеющих форму эмиттеров в виде острия или лезвия. При приложении разности потенциалов между таким катодом, расположенным на плоской поверхности, и плоским анодом, происходит концентрация силовых линий электрического поля вблизи окончания острия/лезвия. В результате этого напряженность поля локально усиливается на окончаниях автоэмиттеров, где радиус кривизны поверхности максимален, как это показано на рисунке 2. Для количественного выражения данного эффекта вводится понятие коэффициента усиления поля, как отношение напряженности поля у окончания эмиттера,  $E$ , к напряженности поля, создаваемой при той же разности потенциалов в отсутствии острия,  $E_0$ :  $K = E/E_0$ .

Опаловая структура, для которой производится расчет коэффициентов усиления, представляет собой четырехслойную тонкопленочную композицию [3]. Проводящий слой формируется из золота Au, на его поверхность осаждается опаловый монослой. В качестве катализатора используется пленка золота Au. Эмиттером являются углеродные наноструктуры (УНС) (рис. 2).



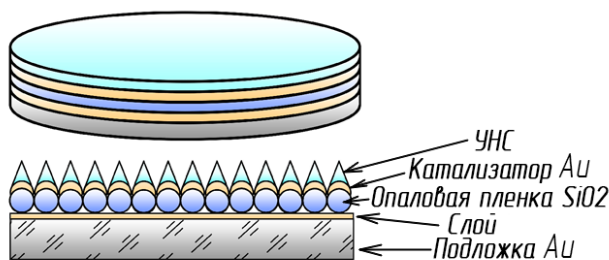


Рис. 2. Многослойная планарная опаловая структура

На основе вольт-амперных характеристик промежутка зонд-образец (рис.3), полученных методом сканирующей туннельной микроскопии, в координатах Фаулера-Нордгейма были рассчитаны коэффициенты усиления структуры по мере ее получения по слоям.



Рис. 3. Вольтамперная характеристика промежутка зонд-образец для структуры золото-опал-золото-УНС.

По результат расчета было выявлено, что с каждым последующим слоем планарной опалой структуры коэффициент усиления возрастает, наибольший коэффициент усиления имеет четырехслойная композиция. Авторы полагают, что данный эффект возникает благодаря острейшим формам УНС, регулярно расположенных на опаловых микросферах. Результаты работы могут быть использованы в технологии автоэмиссионных катодов.

### Литература

1. Елинсон, М.И. Автоэлектронная эмиссия [Текст]/ М.И. Елинсон, Г.Ф. Васильев, Под ред.Зернова Д.В. – М.: «Гостехиздат», 1958. – 272 с.
2. Смольникова Е.А. Исследование структурных и автоэмиссионных характеристик нанографитных холодных катодов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. – Москва: МГУ им. М.В.Ломоносова. 2015. – 146 с.
3. Панфилова Е.В., Сырицкий А.Б., Доброносова А.А. Применение методов сканирующей зондовой микроскопии в исследовании опаловых наноструктур. Инженерный журнал: наука и инновации, 2018, вып. 1

**Секция XII**

**Лазерные технологии в машиностроении**

Председатель:

**Григорьянц Александр Григорьевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
МТ-12

Ученый секретарь:

**Богданов Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-12

**УДК 621.071**

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТУРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ С МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА**

Алексей Сергеевич Алёшин<sup>(1)</sup>, Дмитрий Сергеевич Маркелов<sup>(2)</sup>

*Магистр 1 года<sup>(1)</sup>, магистр 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Д.Р. Подмарев,  
аспирант кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»*

Известен способ контурной лазерной резки с помощью направленного сфокусированного излучения [1]. Недостатками способа являются высокая материалоемкость (большая ширина прореза, значительные потери металла за счет образования грата); искажение формы и размеров детали за счет низкого качества боковой поверхности реза (неперпендикулярность и высокая шероховатость), поверхностного коробления металла, низкой размерной точности; ограниченный диапазон по материалам и толщинам исходного металлопроката.

Тепловая энергия, образующаяся в процессе лазерной резки, создает зону термического воздействия в глубине кромки. Для повышения качества лазерной резки рекомендуется уменьшать тепловое воздействие на металл заготовки с целью уменьшения теплопроводности [2].

Известны способы снижения теплопроводности, а именно охлаждение зоны реза при помощи охлаждающей жидкости, распыляемой вместе с потоком газа [3]. Существенным недостатком данного способа является сложная конструкция лазерной установки, а также недостаточная эффективность процесса охлаждения, низкая коррозионная стойкость металлопроката на железной основе.

Сущность предлагаемого решения состоит в том, что снижение теплопроводности в зоне реза предлагается за счет процесса механической активации металлопроката при прикладывании силового воздействия и возникновение деформационного упрочнения [4]. При этом обеспечивается резкое снижение теплопроводности металла за счет его деформационного упрочнения.

Наблюдаемый эффект обусловлен искажением кристаллической решетки металла, повышением плотности дислокаций при пластическом деформировании.

Разработанный способ контурной лазерной резки с механической активацией листового металлопроката осуществляется по следующим этапам. 1) Производят холодное пластическое деформирование обрабатываемой поверхности металлопроката любым традиционным способом (валками, ударным воздействием между байками и.д.). На этом этапе формируется благоприятная текстура (макро и микро), происходит активация и механический наклеп в области зоны контурной лазерной резки, что позволяет уменьшить тепловые деформации за счет создания небольшой зоны термического воздействия 2) Производят контурную лазерную резку предварительно холоднодеформированного участка металлопроката.

На рисунке 1 представлена технологическая схема разрабатываемого процесса контурной лазерной резки с механической активацией листового металлопроката.

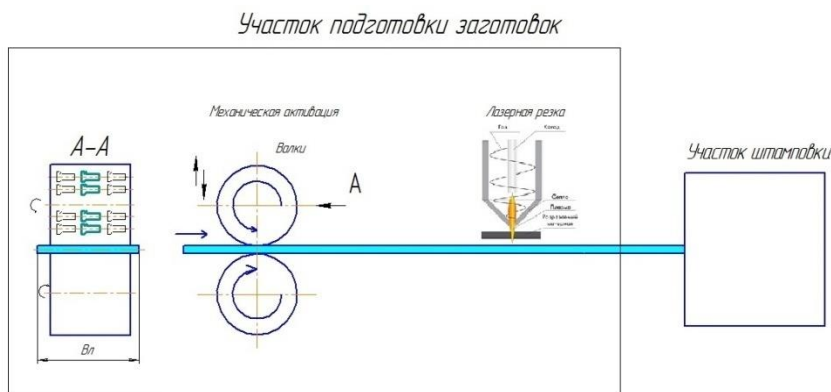


Рис. 1. Технологический алгоритм контурной лазерной резки при использовании механической активации металлопроката

Деформационное упрочнение листового металлопроката, предложенное в рамках данного проекта, реализуется с помощью деформирующих валков, обеспечивающих холодное пластическое деформирование исходного листового материала в зонах разделения согласно чертежу и осуществляющих разнонаправленное вращательное движение (рис.2.).

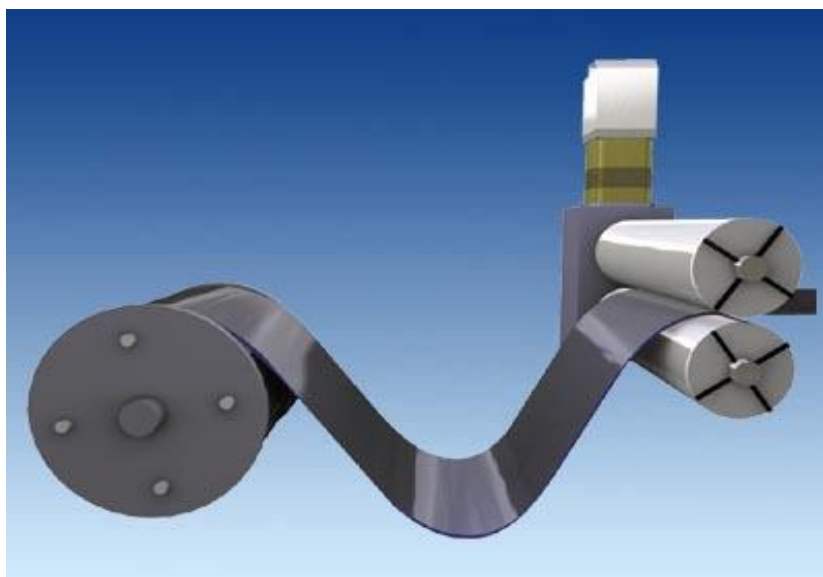


Рис. 2. Схема механической активации использования валкового инструмента

### Литература

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2006.
2. Ковалев О.Б., Зайцев А.В. Моделирование формы свободной поверхности при лазерной резке металлов. 2. Модель многократного отражения и поглощения излучения // ПМТФ. Т. 46. 2005, № 1. С. 16-20.
3. Парфенов В.А. Лазерная микрообработка материалов: Учеб. Пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 59 с.
3. Man H.C., Duan J., Yue T.M. Dynamic characteristics of gas jets from subsonic and supersonic nozzles for high pressure gas laser cutting // Optics & Laser Technology. 1998. V. 30. P. 497-509.

УДК 621.952.5.08

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ДВУМЯ ОПТИЧЕСКИМИ ОБРАЩЕННЫМИ КАНАЛАМИ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Иван Дмитриевич Истомин

*Студент 3 курса, бакалавриат  
кафедры «Автоматика и управление»  
Московский Политехнический университет*

*Научный руководитель: В.В. Матросова,  
старший преподаватель кафедры «Автоматика и управление»*

**Цель работы:** Разработка структуры и реализация оптической информационно-измерительной системы на базе персонального компьютера.

Многофункциональные измерительные системы являются неотъемлемой частью современных промышленных технологических систем. Компьютеризация и применение мощных средств вычислительной техники позволяет подняться на качественно новый уровень технологий за счёт получения более достоверной и более полной информации о параметрах технических и технологических систем. Так, если ранее контроль и измерения в промышленности производились по принципу получения минимума необходимой информации ввиду сложностей, возникающих как в процессе получения информации, так и в процессе её хранения и обработки, то теперь имеется возможность получения гораздо более полной информации об объектах и процессах от автоматизированных систем контроля. Главным вопросом при этом является проблема сбора, обработки информации и выработки на её основе управляющих воздействий. [1]

Информатизация технических средств контроля и управления является актуальной задачей для современного машиностроения. Информатизация позволяет решать сложные задачи управления на качественно более высоком уровне, а, следовательно, повысить качественные показатели производства и уровень технологии.

Построение информационно-измерительных систем, интегрируемых с системами обработки информации и управления техническими объектами и технологическими процессами, возможно на основе современных ЭВМ общего и промышленного назначения, оборудованных специализированными техническими средствами, что в совокупности представляет собой многофункциональную систему класса PCNC. Технические средства, которыми оснащается ЭВМ, представляют из себя измерительные модули, модули управления и программное обеспечение. Основу модулей (рис. 1) составляет цифровой сигнальный процессор (ЦСП), который сопрягается с шиной ЭВМ посредством схемы логики. ЦСП обеспечивает высокую гибкость методов управления, так как он не нуждается в постоянной поддержке центрального процессора системы и способен сам выполнять такие операции как вычисление с высокой точностью, преобразование сигналов, нахождение спектров сигналов, преобразования Фурье, расчет импульсных сигналов и т.д. Такие особенности ЦСП обеспечивают его эффективное применение в информационных системах.

Также модуль имеет собственный сигма-дельта аналогово-цифровой преобразователь (СДАЦП), совмещённый с программируемым усилителем и ЦАП. Применение СДАЦП вместо обычного АЦП диктуется необходимостью обеспечить высокую точность преобразований аналоговых сигналов. Программное обеспечение системы разработано в среде визуального проектирования автоматизированных систем

класса PCNC. Непосредственно программа анализа входных сигналов написана на языке программирования G (Джей).

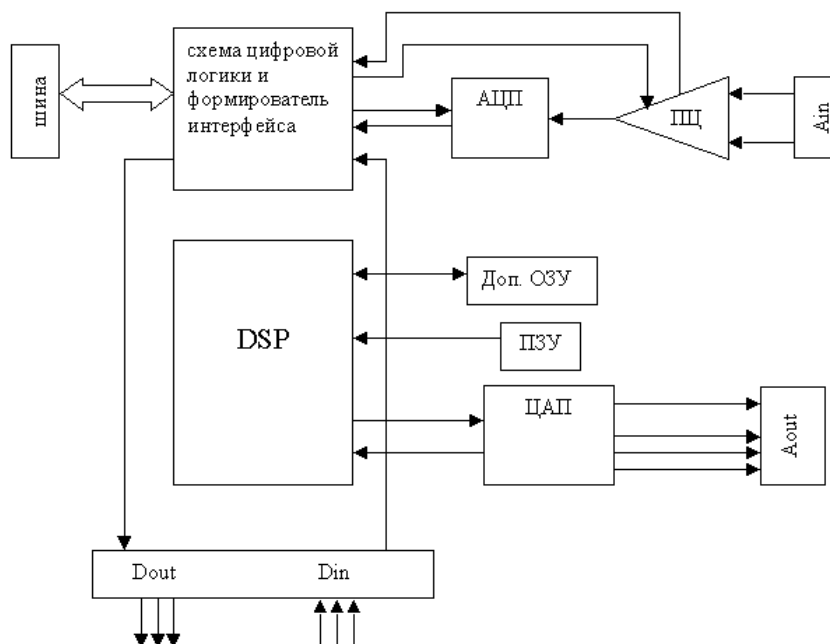


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы.

В результате научно-исследовательских работ в области адаптивных систем активного контроля геометрических параметров деталей в процессе их формообразования на кафедре «Автоматика и управление» Мосполитеха создана экспериментальная лабораторная автоматизированная лазерная измерительная система (рис. 2) с двумя оптически обращёнными каналами (ЛИС ДОК). Данная система отвечает вышеуказанным требованиям и имеет в качестве технических средств обеспечения информационных процессов систему класса PCNC на базе ЭВМ общего назначения. [2]. Данная система используется в учебном процессе по дисциплине «Системы автоматизации и управления», а также на этапах дипломного проектирования. Система позволяет проводить лабораторные исследования:

- экспериментальные исследования неустойчивостей поперечной диаграммы направленности излучения (ДНЛ) измерительных газовых и полупроводниковых лазеров с мощностью излучения до 5 мВт;
- экспериментальные исследования параметров измерительных лазеров;
- экспериментальные исследования блоков ЛИС ДОК;
- измерения прямолинейности движения, прямолинейности и пространственного положения осей отверстий и технологических систем.



Рис.2. Лабораторная установка.

На рис. 2 представлена лабораторная установка с приводом движения, установленным на нём опико-фотоприёмным блоком и лазерным излучателем.

Данная система обеспечивает принцип информатизации и компьютеризации при активном автоматизированном контроле и адаптивном управлении. Рассматриваемая система может быть легко совмещена с действующими технологическими системами.

**Выводы:** Разработанная структура спроектирована в программе G, используя полученную структуру, выполнен ее монтаж на базе реальных элементов и подтверждена ее работоспособность.

### Литература

1. *Матросова В.В.* Результаты расчета математических моделей синтеза лазерных систем автоматического контроля и управления параметрами вибрации // Матер. 77-ой Междунар. науч.-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России» - «Приоритеты развития и подготовки кадров». М.: МГТУ «МАМИ». 2012.
2. *Матросова В.В., Архипов М.В., Сизов Ю.А.* Учебное пособие по курсу «Электротехника и электроника». М.: Типография Московского Политеха, 2017 г.

### УДК 621.7.09

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОГО НАКЛЕПА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО НАКЛЕПА НА ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

Елизавета Андреевна Каленова

*Студентка 5 курса,*

*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Д.М. Мельников, кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Лазерный наклеп (ЛН) – метод поверхностной обработки материала с высокой скоростью деформации (около  $10^6 \text{ с}^{-1}$ ), аналогичный дробеструйной обработке и ультразвуковой дробеструйной обработке, но обладающий рядом преимуществ перед этими технологиями. Следствием ЛН является увеличение усталостной прочности, устойчивости к коррозионному растрескиванию и устойчивости к фреттинг-коррозии.

Требуемая плотность мощности лазера для данной технологии составляет порядка  $10^9 \text{ Вт/см}^2$ , а длительность импульса – наносекунды. Под действием таких импульсов генерируются ударные волны (УВ), распространяющиеся под поверхностью материала и создающие сжимающие напряжения максимальные в приповерхностной зоне и уменьшающиеся вглубь материала (рисунок 1). Для протекания этого процесса требуется покрыть обрабатываемый материал специальным поглощающим покрытием, испарение которого под действием лазерного импульса образует плазменный факел, генерирующий УВ. Перед поглощающим покрытием наносится прозрачный слой, который не дает распространяться от поверхности материала плазме факела, что повышает интенсивность УВ.

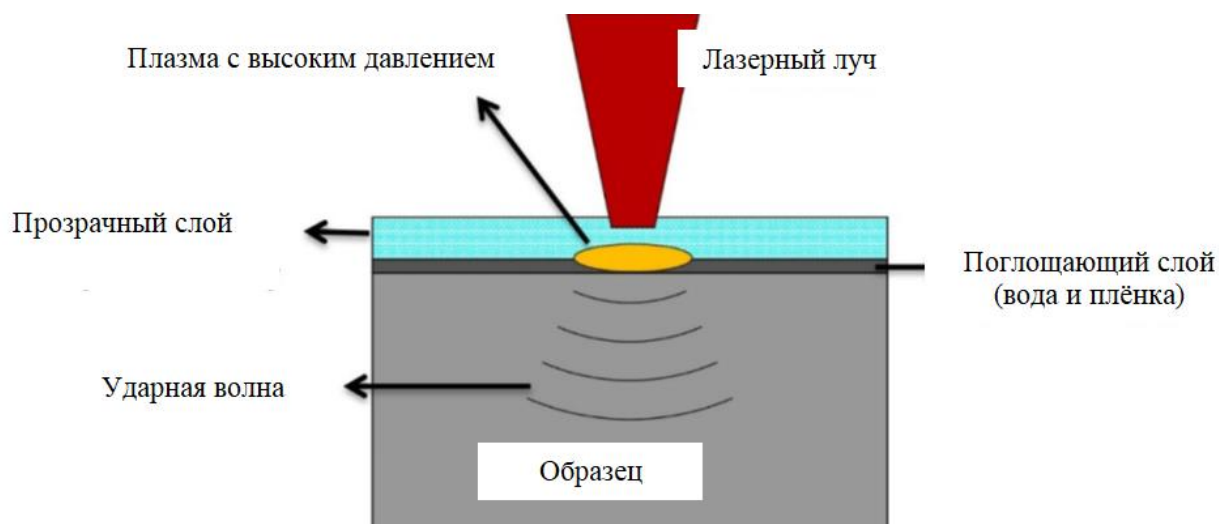


Рис. 1. Схема процесса лазерного наклёпа

Обычно прозрачный и поглощающий слой – это, соответственно, вода и краска, которую наносят мишень (обрабатываемый материал). Но в некоторых технологиях применение этих традиционных сред невозможно, либо же сильно затруднено. Вместо них предлагается использовать альтернативные нестандартные среды. В связи с чем и была проведена серия экспериментов для оценки возможности применения тех или иных сред, а так же оценки получаемых при этом результатов.

Величину и глубину получаемых в результате процесса ЛН сжимающих остаточных напряжений, ведущих к улучшению механических и усталостных свойств деталей, можно контролировать, варьируя параметры ЛН. Именно поэтому помимо влияния применяемых сред важно исследовать влияние режимов обработки на ее конечный результат.

## Литература

1. *Nikola Kalentics, Eric Boillat, Patrice Peyre, Cyril Gorny, Christoph Kenel, Christian Leinenbach, Jamasp Jhabvala, Roland E. Logé.* 3D Laser Shock Peening – A new method for the 3D control of residual stresses in selective laser melting // *Materials & Design.* 2017. P. 350-356.
2. *Rubio-González, C.; Gomez-Rosas, G.; Ocaña, J.; Molpeceres, C.; Banderas, A.; Porro, J.; Morales, M.* Effect of an absorbent overlay on the residual stress field induced by laser shock processing on aluminum samples // *Appl. Surf. Sci.* 2006. Vol. 252. P.6201–6205.
3. *Abdullahi K. Gujba, Mamoun Medraj.* Laser Peening Process and Its Impact on Materials Properties in Comparison with Shot Peening and Ultrasonic Impact Peening // *Materials.* 2014. № 7. P. 7925-7974
4. *Lei Zhang, Jin-Zhong Lu, Yong-Kang Zhang, Hai-Le Ma, Kai-Yu Luo, Feng-Ze Dai.* Effects of Laser Shock Processing on Morphologies and Mechanical Properties of ANSI 304 Stainless Steel Weldments Subjected to Cavitation // *Erosion Materials* 2017. №10. P. 2957-2964
5. *Hong, X.; Wang, S.; Guo, D.; Wu, H.; Wang, J.; Dai, Y.; Xia, X.; Xie, Y.* Confining medium and absorptive overlay: Their effects on a laser-induced shock wave // *Opt. Lasers Eng.* 1998. № 29. P. 447–455.



УДК 53.086

**ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ  
МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПРИМЕНЕНИИ К СОЗДАНИЮ  
УЛЬТРАСТАБИЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ**

Константин Игоревич Макаренко

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Проблемы квантовой физики»*

*Московский физико-технический институт*

*Научный руководитель: И.В. Шерстов,*

*Ph.D., заведующий лабораторией системных исследований проблем измерения времени и частоты Сколковского института науки и технологий*

В октябре 2017 года по соглашению с Министерством образования и науки России было начато проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Разработка генератора ультрастабильных опорных сигналов частоты на холодных ионах иттербия для повышения на порядок точности геопозиционирования, космической навигации и формирования новых сегментов массового спроса на рынке приложений глобальной спутниковой навигации». Лидирующую роль в выполнении ПНИЭР взял на себя Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН (Москва), возглавляемый член-корреспондентом РАН, д.ф.-м.н. Н.Н. Колачевским. Помимо ФИАН в состав коллаборации вошли: АО "Российские космические системы", Сколковский институт науки и технологий (МО, Сколково), ООО "Авеста-Проект" (МО, Троицк) и Институт лазерной физики Сибирского отделения РАН (Новосибирск).

На этапе разработки наземного экспериментального образца иттербиевого бортового ионного стандарта (ИБИС) решение ряда важных инженерных задач взяла на себя Лаборатория системных исследований проблем измерения времени и частоты Центра фотоники и квантовых материалов Сколковского института науки и технологий. В данной работе кратко описывается общая направленность работы коллектива инженеров-исследователей данной лаборатории, а также приводится ряд теоретических основ квантовой метрологии, некоторые данные из истории достижений физико-технических наук в области стандартизации времени и частоты и наиболее важные подходы к проектированию сверхточных приборов с помощью различных технологий лазерного охлаждения атомных и ионных частиц.

Из всех экспериментально определяемых физических величин частота может быть измерена с наивысшей точностью [1]. В 1983 году XVII Генеральной конференцией по мерам и весам была принята идея фактического объединения эталонов времени, длины и частоты. Скорость света была декларативно принята в виде фиксированной величины  $c = 299792458$  [м/с]. Метр был определён как длина пути, проходимого в вакууме светом за  $1/299792458$  долю секунды. Эталон длины, воспроизводящий метр в его новом определении, был реализован при помощи цезиевого эталона времени и частоты, дополненного РОЧМ - радиооптическим частотным мостом.

Стандарты частоты представляют собой приборы, способные синтезировать известные стабильные частоты с определённой погрешностью и обеспечивать потребителя необходимыми

реперами (вторичными эталонами) частоты в широчайшем частотном диапазоне, представляющем глубокий интерес для науки и техники. Помимо этого, стандарты частоты позволяют использовать единую для всех диапазонов единицу - герц.

Любой стандарт или репер частоты имеет две основные определяющие характеристики - точность и стабильность. Для объяснения их сути можно привести наглядный пример со стрелком и мишенью (рисунок 1).

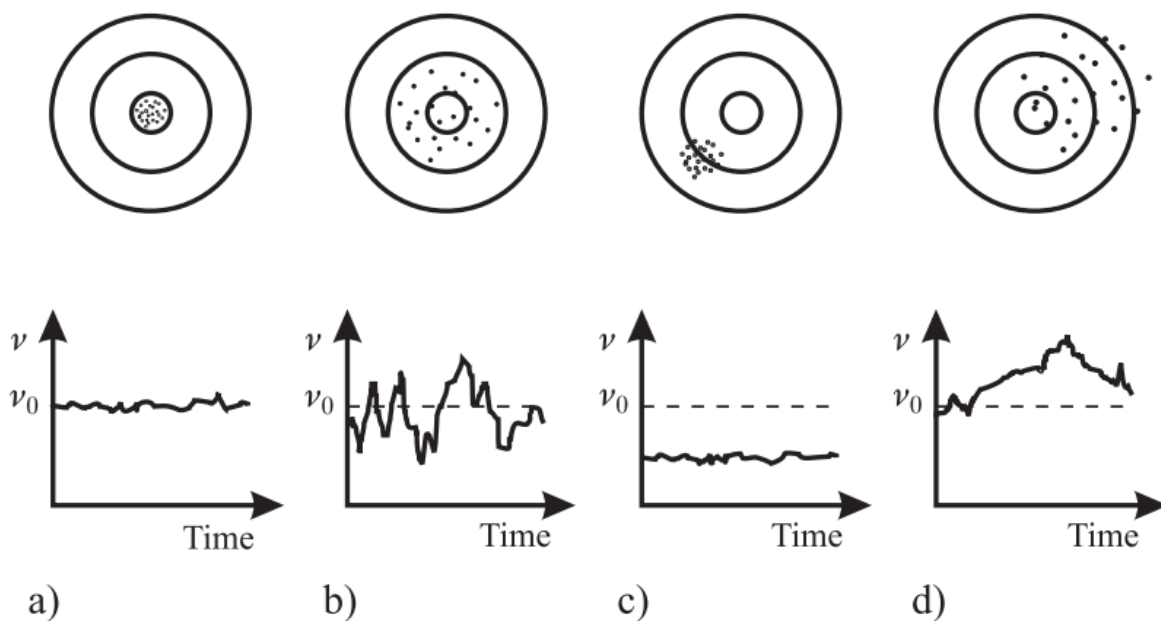


Рис. 1. Мишени с пулевыми отверстиями (верхний ряд), иллюстрирующие различные виды случайных реализаций стрельб: а - стабильную и точную; б - точную, но нестабильную; с - стабильную, но неточную; д - нестабильную и неточную. Нижний ряд - источники частоты с соответствующими характеристиками точности и стабильности сигнала.

Степень относительной нестабильности стандарта или репера частоты характеризуется одной из важнейших величин в квантовой метрологии - дисперсией Аллана. Она является обобщением формулы дисперсии по выборке (квадрата стандартного отклонения для последовательности результатов измерений)

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \cdot \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2 \right)$$

и расширяет её до адекватной численной характеристики случайного процесса **в присутствии корреляций:**

$$\sigma_y^2(\tau) = \left\langle \sum_{i=1}^2 \left( \bar{y}_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \bar{y}_j \right)^2 \right\rangle = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_2 - \bar{y}_1)^2 \rangle.$$

Это выражение было получено из формулы N-точечной выборочной дисперсии при заданном числе измерений N и заданных величинах интервала между последовательными измерениями T и времени каждого измерения  $\tau$

$$\sigma_y^2(N, T, \tau) = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \bar{y}_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j \right)^2,$$

в которой, согласно предложению Д. Аллана, было принято  $N = 2$ ,  $T = \tau$  и т.н. «мёртвое время»  $T - \tau = 0$ .

В отличие от классического стандартного отклонения, дисперсия Аллана опирается на измерение разности двух соседних последовательных измерений физической величины, а не на измерение отклонения физической величины от её среднего значения. Любой стандарт или репер частоты характеризуется «графиком стабильности», или «паспортом стандарта» - кривой аллановской дисперсии. На рисунке 2 представлены указанные зависимости для ряда существующих на данный момент в технике стандартов.

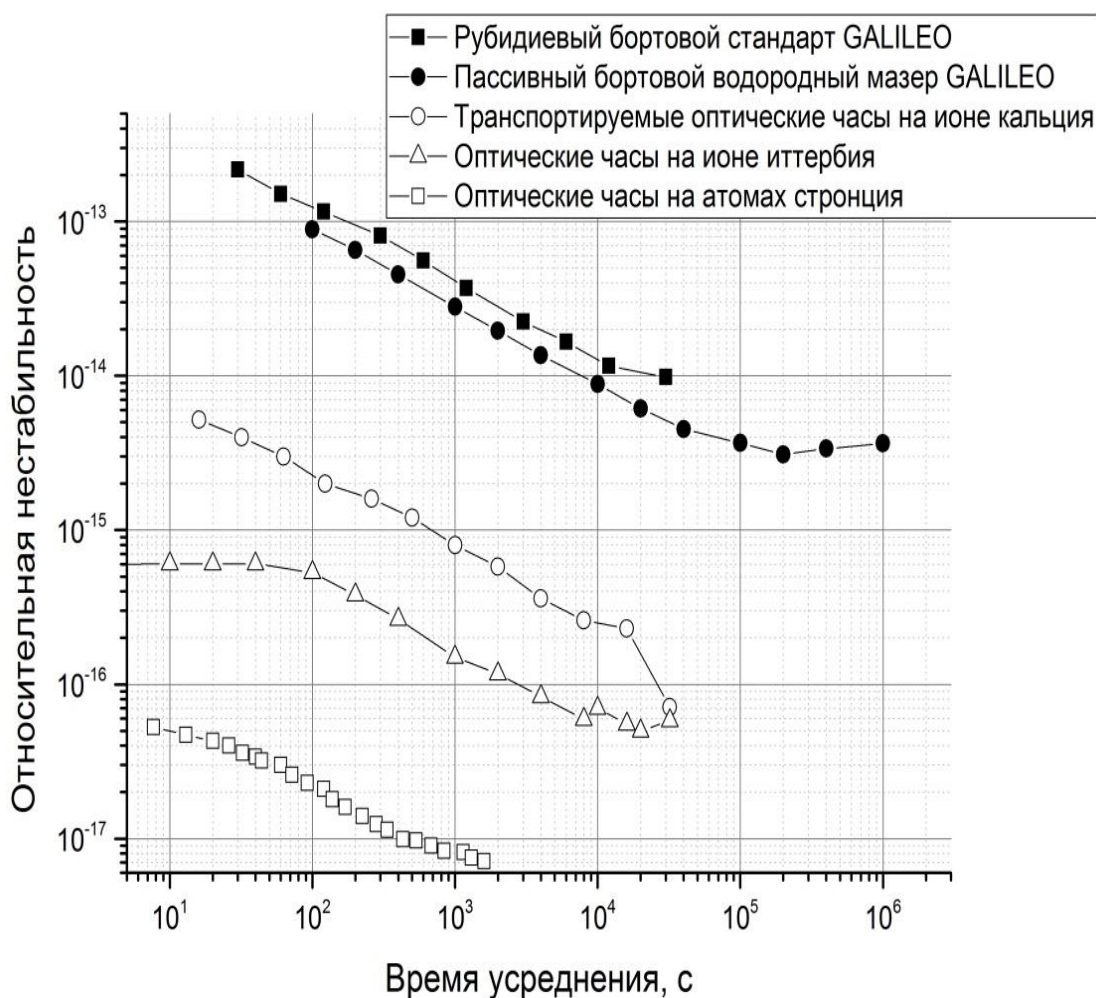


Рис. 2. Сравнение характеристик различных наземных, транспортируемых и бортовых стандартов.

В настоящее время в ФИАН им. П.Н. Лебедева при сотрудничестве Сколтеха, РКС, ООО «Авеста-проект» и ИЛФ СО РАН ведётся разработка транспортируемых оптических часов (стандарта частоты видимого диапазона) на одиночном холодном ионе иттербия. Выдающиеся характеристики стабильности (см. рис. 2) стали достижимы благодаря переходу из широко распространённого в технике стандартов частоты СВЧ-диапазона в область видимого света, использования одиночного иона вместо ансамбля частиц и практической реализации передовых технологий лазерного охлаждения до температур порядка единиц микрокельвин с использованием ультрастабильных резонаторов и перестраиваемых узкополосных диодных лазеров.

Существуют две наиболее важные и широкоиспользуемые технологии лазерного охлаждения нейтральных атомов и ионов. Первая из них - **доплеровское охлаждение** в т.н. **оптической патоке** (optical molasses). Суть технологии заключается в следующем. Одиночная движущаяся частица (для простоты рассмотрим двухуровневый атом в одномерном случае) облучается встречным лазерным излучением, отстроенным в красную сторону спектра от частоты перехода атома на величину доплеровского сдвига. За частицей установлен рефлектор, отражающий лазерный луч в обратном направлении. Частота фотонов, движущихся навстречу частице, за счёт эффекта Доплера находится ближе к частоте перехода, чем фотонов, «догоняющих» частицу (в системе отсчёта, связанной с частицей). По этой причине вероятность поглощения частиц из встречного потока превышает аналогичную вероятность для попутного, в результате чего число актов поглощения фотонов со встречным импульсом начинает превалировать - на атом начинает действовать зависящая от его скорости равнодействующая сила (рисунок 4), схожая по природе с силой вязкого трения в жидкости, и частица начинает тормозиться, т.е. терять скорость, энергию и температуру. Однако следует оговориться - понятие температуры в физике есть понятие статистическое, и для одиночной частицы оно, вообще говоря, неприменимо. Говоря о температуре одного атома, мы имеем в виду соответствующую этой температуре скорость.

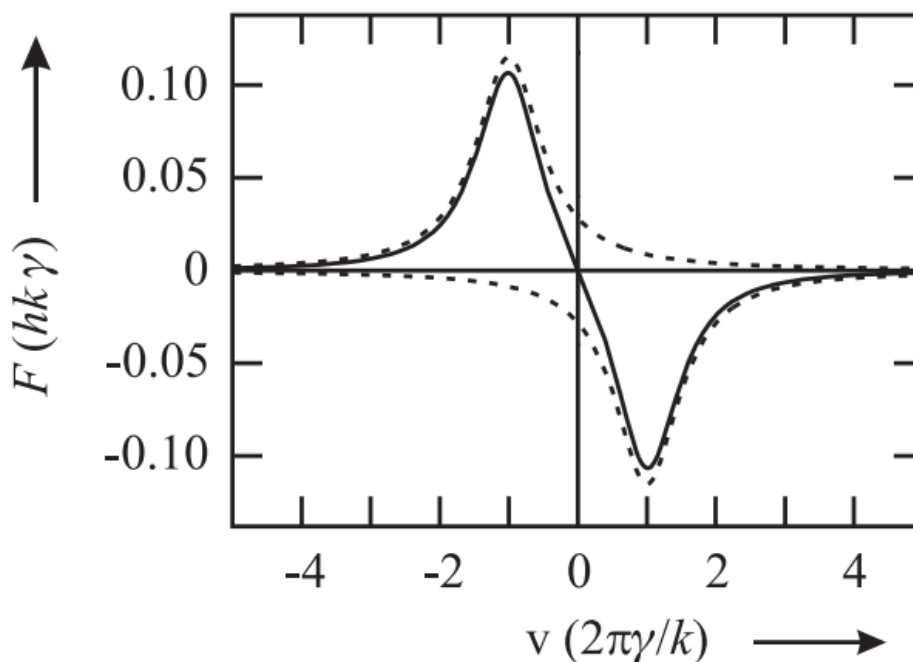


Рис. 3. Зависимость силы светового давления от скорости атома при отстройке частоты лазера  $\nu$  в красную область от частоты перехода  $\nu_0$  на одну спектральную ширину линии

$\gamma = 1/2\pi\tau$ , где  $\tau$  - время жизни возбуждённого состояния [1]. Здесь параметр насыщения  $S_0 = 0.3$ .

Вторая технология, позволяющая достичь ещё более низких температур - **субдоплеровское лазерное охлаждение**, или т.н. механизм «сизифова охлаждения». В данной технологии частицы движутся в лазерном поле с сильным градиентом поляризации, таким, что направление поляризации полностью изменяется на половине длины волны излучения (рисунок 4). Такой градиент можно получить, например, в двух встречных световых потоках одной и той же амплитуды и частоты, но с перпендикулярными линейными поляризациями. В таком световом поле магнитные подуровни основного и возбуждённого состояний атомной системы испытывают световые сдвиги, изменяющиеся в пространстве из-за наличия градиента поляризации. Это приводит к тому, что в разных точках пространства разрешённые переходы при поглощении фотона атомом отличаются от разрешённых переходов при релаксации. Поглощая фотон, атом «взбирается» на потенциальный холм, совершая разрешённый в данной точке пространства переход и теряя кинетическую энергию. При релаксации атом переизлучает фотон, теряет потенциальную энергию и возвращает себе потерянную ранее кинетическую, но она оказывается меньше первоначальной из-за разницы между энергиями разрешённых переходов при поглощении и релаксации. Процесс «потенциальных» спусков и падений повторяется многократно - отсюда и аналогия с древнегреческим мифом о Сизифе. После каждой пары актов поглощения - переизлучения кинетическая энергия атома, его скорость и, соответственно, температура уменьшаются. Оптимальный режим работы в механизме субдоплеровского лазерного охлаждения - тот, при котором среднее время переброса атома на другой магнитный подуровень равно времени прохождения атомом расстояния  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  - длина волны лазерного излучения.

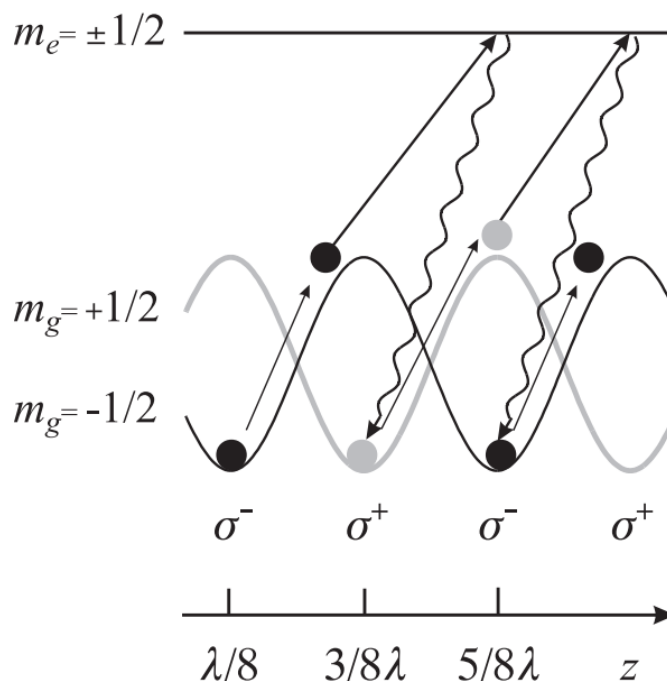


Рис. 4. Картина расщепления энергии магнитных подуровней основного и возбуждённого состояний, приводящая к пространственной модуляции взаимодействия частицы с полем [1].

Температурным пределом, определяющим минимальную теоретически достижимую температуру при субдоплеровском лазерном охлаждении, является т.н. предел отдачи,

обусловленный невозможностью атома поглотить фотон и остаться на нулевой скорости в силу закона сохранения импульса. Теоретический температурный предел для доплеровского механизма лазерного охлаждения - доплеровский предел - является более строгим, чем предел отдачи, и не позволяет в этом механизме достичь настолько же низких температур, как для технологии субдоплеровского охлаждения.

Для реализации на практике различных механизмов лазерного охлаждения необходимо локализовать частицу, т.е. создать условия для удержания её в ограниченной области пространства, в которой она бы совершала финитное движение [2]. Это требование для атомов и ионов выполняется с помощью специальных ловушек: для атомов - атомных, для ионов - ионных. Среди **ионных ловушек** следует выделить два основных типа - это ловушки на переменном неоднородном электрическом поле (радиочастотные ловушки, или **ловушки Пауля**), а также ловушки на комбинации статических магнитного и электрического полей (**ловушки Пеннинга**). В каждой из этих ловушек заключенный в них ион совершает в трёхмерном случае три типа колебательного движения: в ловушке Пауля - *micromotion* (осцилляции на частоте приложенного поля с отставанием от него по фазе на  $\pi$ ), а также радиальные и аксиальные колебания; в ловушке Пеннинга - циклотронное движение (быстрые колебания вокруг линий напряжённости магнитного поля с частотой  $\omega_C$ ), аксиальное движение (гармонические колебания вдоль направления магнитного поля с частотой  $\omega_Z$ ) и магнетронное движение (медленные смещения) с частотой  $\omega_m$  (рисунок 5). Если же говорить об **атомных ловушках**, то в их случае силы, воздействующие на нейтральные атомы и молекулы гораздо слабее, чем силы электростатического взаимодействия. В основном они основаны на взаимодействии градиента внешнего электрического поля с наведённым электрическим моментом частицы или магнитным дипольным моментом частицы.

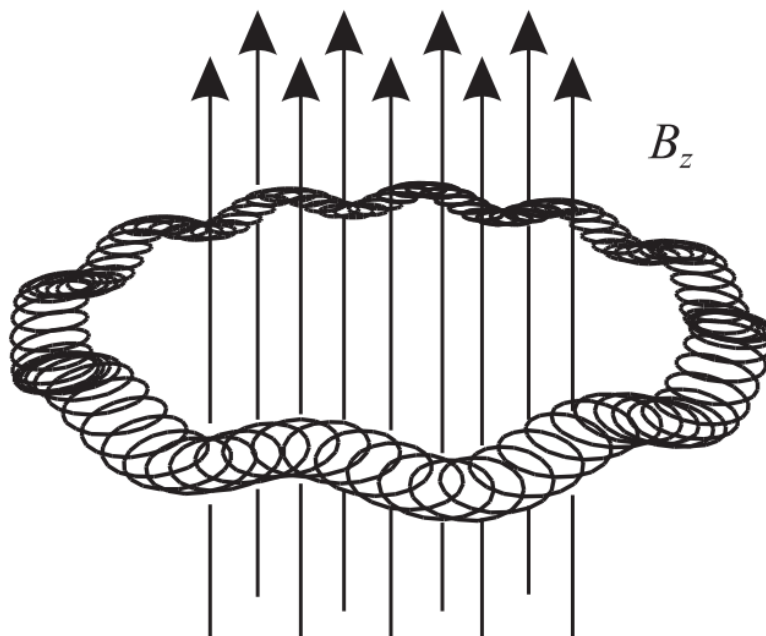


Рис. 5. Траектория иона в ловушке Пеннинга, представляющая собой орбиту с эпициклами в плоскости  $x - y$ , на которую наложены колебания вдоль направления магнитного поля (оси  $z$ ) [1]. Изображённая траектория соответствует случаю  $\omega_C = 10 \cdot \omega_Z = 100 \cdot \omega_m$ .

Целью разработки ультрастабильного бортового оптического стандарта частоты на одиночном ионе иттербия является дальнейшее использование его в различных отраслях науки,

техники и народного хозяйства. Наиболее обширным и существенным из них является глобальная спутниковая навигация. Повышение точности и стабильности бортовых часов влечёт за собой увеличение точности геопозиционирования - определения координат объекта на Земле. На данный момент ставится амбициозная, но вполне решаемая задача повысить эту точность для системы ГЛОНАСС до единиц деци- и даже сантиметров. Такая точность может быть крайне востребована как для военных, так и гражданских применений. К последним относятся: мониторинг автотранспорта, в т.ч. беспилотного, контроль за движением железнодорожных составов, высокоточная посадка самолётов и швартовка кораблей в портах, движение аппаратов в космическом пространстве, мари- и сельское хозяйство (локальный полив, вспашка и внесение удобрений в почву), реализация наукоёмких комплексов в рамках т.н. «умных» городов и т.д. Помимо навигационных систем, можно перечислить ещё ряд важных направлений применения ультрастабильных стандартов частоты:

1) Передача сигнала точного времени для использования в *time-based services* - сервисах точного времени и синхронизации.

2) Фундаментальная наука: повышение точности измерения фундаментальных констант (джозефсоновская постоянная, постоянная Ридберга, постоянная сверхтонкой структуры), детектирование гравитационных волн, гравиметрия [3].

3) Картография, геодезия, исследование океанического и морского дна, прогнозирование стихийных бедствий.

В настоящее время автором работы в составе команды инженеров-исследователей Сколковского института науки и технологий разрабатывается архитектура, дизайн, конструкция и технология изготовления модуля системы соединения и корпуса наземного образца итербийевого бортового стандарта. Согласно требованиям технического задания, при эксплуатации изделия должны быть строго выдержаны условия поддержания микроклимата, избыточного давления, класса чистоты атмосферы, экранирования внешних магнитных полей и защиты от вибраций в области расположения наиболее ответственных оптических узлов установки. Проведённая работа над миниатюризацией, компактизацией и облегчением изделия на данный момент уже сократила ряд массогабаритных характеристик стандарта частоты почти в 1.5 раза по сравнению с требуемыми значениями.

#### **Литература.**

1. *Риле Ф.* Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 512 с. - ISBN 978-5-9221-1096-9.

2. *Huntemann N.* High-Accuracy Optical Clock Based on the Octupole Transition in  $^{171}\text{Yb}^+$ . Doktor der Naturwissenschaften Dr. rer. nat. genehmigte Dissertation. Der Fakultat für Mathematik und Physik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Germany, 2014.

3. *Хабарова К.Ю., Кудеяров К.С., Колачевский Н.Н.* Стандарты частоты на ультрахолодных атомах в тестах общей теории относительности, навигации и гравиметрии. Квантовая электроника, 47:5 (2017), 394–399 [Quantum Electron., 47:5 (2017), 394–399]. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://mi.mathnet.ru/qe16607> (дата обращения 25.11.2017).



**УДК 621.375.826**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ**

Светлана Леонидовна Пономаренко, Александр Валерьевич Кривошеев

*Студенты 4курса, специалитет*

*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Шупенев,*

*ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

С недавних пор в мире возрастает интерес к нанопленкам и их исследованию, поскольку они позволяют значительно улучшить качество поверхности с незначительными затратами материала.

Метод лазерного осаждения выгодно отличается от иных способов тем, что при его использовании состав пленок соответствует составу материала мишени, что очень важно при осаждении многокомпонентных материалов. Из-за высокой степени пересыщения при конденсации продуктов абляции происходит интенсивное зародышеобразование с высокой однородностью формируемой пленки. При лазерном осаждении скорость роста пленок относительно высока, а так же этот метод позволяет получать высококристаллические покрытия. Немаловажный фактор - практически полное отсутствие загрязнений пленки компонентами материалов камеры и вспомогательных устройств из-за малой ширины луча. Расположения лазерного источника за пределами вакуумной камеры позволяет также в широких пределах изменять состав газовой атмосферы при напылении. Однако есть и недостатки: из-за малого диаметра факела продуктов абляции размер зоны однородного напыления мал, а также возможно загрязнение пленки каплями расплава материала мишени при высоких скоростях осаждения.

Исследования проводились на комплексе PLD-400, созданном в компании ПВД.Спарк. Установка включает в себя эксимерный лазер и вакуумную систему, состоящую из форвакуумного и турбомолекулярного насосов.

Измерения толщины пленки проводились эллипсометрическим методом. Это позволило достигнуть высокой точности измерений за счет накопления большого массива данных за небольшое время с последующим усреднением. Время измерения спектра определялось преимущественно временем поворота дифракционной решетки.

Было проведено шесть различных экспериментов с целью определить параметры, в большей степени влияющие на толщину пленки. Толщина измерялась в 10 точках каждого образца кремниевой подложки с нанесенной тонкой пленкой углерода. Изменяющимися параметрами являлись: глубина вакуума, способ очистки и расположение подложки.

В результате экспериментов было замечено, что толщина напыленного слоя заметно зависит от глубины вакуума. На качество покрытия значительное влияние оказывает способ очистки подложки. Наилучший вариант – плавиковая кислота. Так же на толщину и качество покрытия влияет относительное расположение мишени и подложки: чем ближе расположена последняя, тем лучше качество покрытия. Для получения наилучшего и равномерного напыления необходимо увеличить количество экспериментов.



## Литература

1. Панфилов Ю. В. Нанесения тонких пленок в вакууме. // Технологии в электронной промышленности. – 2007. - № 3. – С. 76-80.
2. Robert Eason. Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applications-Led Growth of Functional Materials // John Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9780470052129.fmatter

УДК 621.373.826

## ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Екатерина Михайловна Тюльпанова

Студентка 5 курса,

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.М. Мельников,

доктор технических наук, кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

В настоящее время одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений является исследование путей получения и свойств наноразмерных объектов – наночастиц (НЧ).

Большой научный и практический интерес к НЧ и наноматериалам обусловлен тем, что многие их физические, химические и термодинамические свойства существенно отличаются от свойств макроскопического вещества того же состава. Кроме того, влияние размера и структуры НЧ на их свойства также велико, как и влияние их химического состава.

Важной особенностью, в частности для металлических НЧ, является отличное от макроразмерных частиц взаимодействие со светом, в т.ч. солнечным. Данные особенности НЧ приводят к возникновению таких явлений, как сильное рассеяние (более 30 нм) либо поглощение (до 30 нм), поверхностный плазмонный резонанс (ППР).

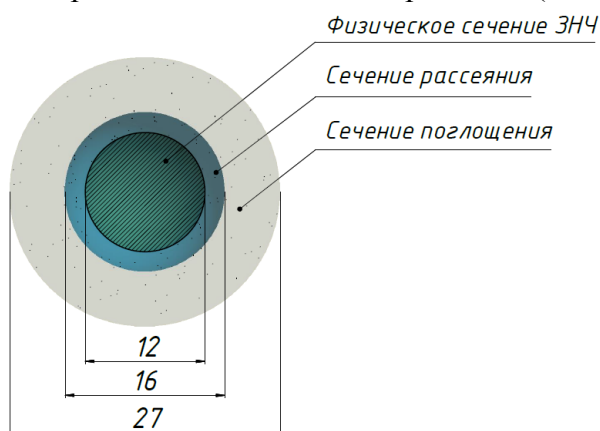


Рис. 1. Сечения рассеяния и поглощения ЗНЧ размером 12 нм

Замеченные оптические свойства НЧ нашли широкое применение, одним из которых является фотовольтаика.

Фотовольтаика – единственная технология, осуществляющая прямое превращение света в электрический ток. Она развивается на протяжении нескольких десятилетий, при этом решаются такие задачи как повышение эффективности СЭ, а также снижение стоимости, увеличение срока службы и стабильности работы при непостоянных внешних условиях (температура, влажность, облачность).

Основная задача, стоящая перед разработчиками СЭ, заключается в увеличении фактора заполнения, определяющего эффективность СЭ. С этой целью используется эффект «захвата света». Падающий свет, отражаясь или рассеиваясь, будет задерживаться в структуре, многократно проходя через внутренний слой СЭ и поглощаясь в нем. Данный эффект должен приводить к значительному увеличению коэффициента поглощения в длинноволновой области солнечного спектра, что, в свою очередь, повысит эффективность работы СЭ без увеличения толщины.

Для данных целей было рассмотрено использование наночастиц серебра и золота, синтезированных методом лазерной абляции в жидкости (ЛАЖ). Метод лазерной абляции сделал возможным управление характеристиками НЧ металлов и полупроводников непосредственно в процессе синтеза. Поэтому неоднократно в научных работах исследовалось влияние таких параметров лазерного излучения на свойства наночастиц, как длительность импульса, длина волны излучения, частота следования лазерных импульсов, а также поперечный профиль лазерного излучения.

На выходе ЛАЖ получается коллоидный раствор, свойства которого легко оценить оптическими методами. В рамках проекта были проведены эксперименты при различной степени повторного облучения НЧ. Была измерена экстинкция полученных коллоидных растворов. Размеры НЧ серебра были измерены с помощью методик просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.

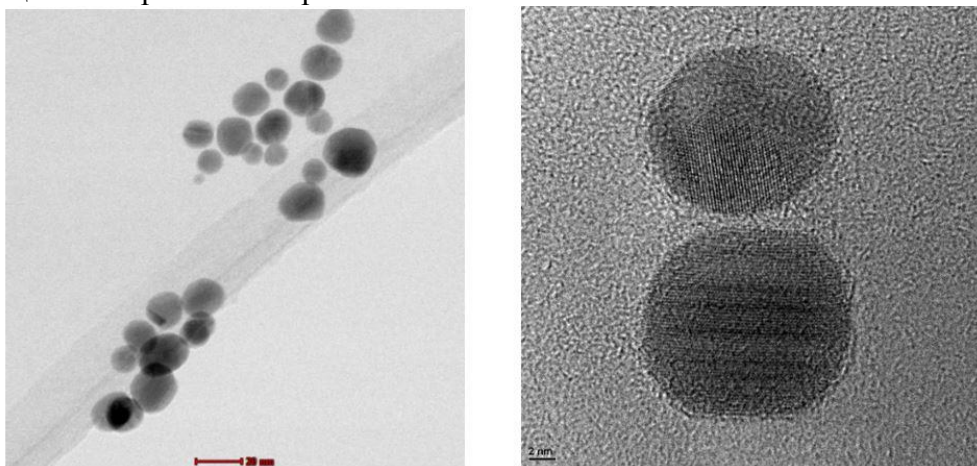


Рис. 2. Изображения, полученные на сканирующем (слева) и просвечивающем (справа) электронных микроскопах

Предложено устройство для осуществления непрерывного лазерного синтеза. Регулирование параметров данной установки даёт возможность управлять параметрами синтезируемых НЧ.

### Литература

1. Макаров Г.Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии. // Успехи физических наук. 2013 - №7. С. 673-718.
2. Хлебцов Б.Н., Ханадеев В.А., Пылаев Т.Е., Хлебцов Н.Г. Метод динамического рассеяния света в исследовании силикатных и золотых наночастиц. // Оптика и спектроскопия. Лазерная физика. 2017-№2. С.71-84.

3. Сычёв В.В. Нанотехнологии для энергосбережения: прогноз наиболее значимых областей исследования. // Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. 2008 - №6. С. 118-128.
4. Кашикарров П.К., Казанский А.Г., Фориш П.А., Емельянов А.В. Тонкопленочные солнечные элементы в прошлом и будущем. // Природа. 2013 - №12. С. 56-66.
5. Солдатов А.Н., Васильева А.В. Эффект лазерной резонансной абляции в микро- и нанотехнологиях // Известия Томского политехнического университета. 2007. № 2. С. 81–85.

**УДК 621.373.826**

### **СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА КРОВЕНОСНЫЕ СОСУДЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МЕДИЦИНСКИХ ЛАЗЕРОВ.**

Наталья Александровна Ярошенко, Елизавета Алексеевна Герасимова

*Студенты 5 курса,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Богданов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Лечение сосудистых новообразований кожи производится с помощью нагрева короткими световыми импульсами сосудов увеличенного диаметра. В случае длительного нагрева может произойти тепловой перенос и нагрев окружающих сосуд тканей, что отрицательно влияет на результат лечения.

Для достижения максимальной эффективности необходимо выяснить, какой температуры достигнет сосуд и окружающие ткани, чтобы исключить появление теплового переноса. Для этого необходимо моделирование нагрева сосуда различными лазерными аппаратами, успешно применяемыми в медицинской практике.

В работе рассмотрены модели нагрева сосуда лазером на парах меди, импульсным лазером на красителе, неодимовым и диодным лазером, произведен расчет распределения температуры в коже. Схема кожи, используемая в расчетах, представлена на Рисунке 1.

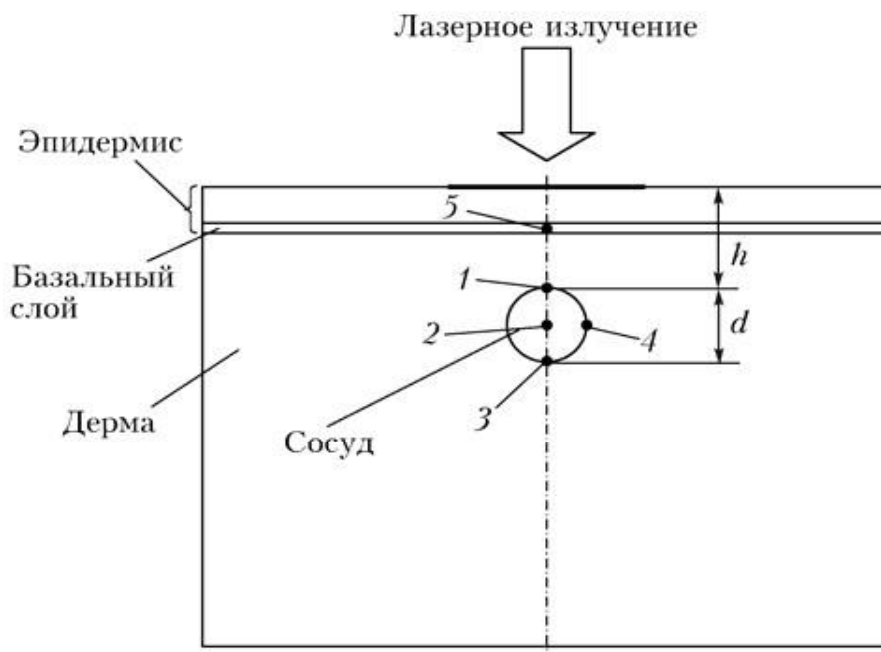


Рис.1. Схема кожи, используемая в расчетах. 1 - верхняя точка сосуда, 2 - центр сосуда, 3 - нижняя точка сосуда, 4 - боковая точка сосуда, 5 - базальный слой,  $d$  - диаметр сосуда,  $h$  - расстояние от поверхности кожи до сосуда.

Также в работе приведены расчетные динамики нагрева сосудов различного диаметра, расположенных в ткани на различной глубине.

В работе были сделаны выводы, опираясь на расчетные данные, о том, что максимальной эффективности возможно достичь при применении лазерного света с длиной волны в желтой области спектра, попадающей в зону высокого поглощения оксигемоглобина и дезоксигемоглобина. Режим нагрева сосудов серией микроимпульсов лазера на парах меди безопаснее, чем коротким высокоэнергетическим импульсом импульсного лазера на красителе, так как лазер на парах меди нагревает сосуды различного диаметра до температур ниже температуры закипания крови, что обеспечивает селективную коагуляцию сосуда без его разрыва.

### Литература

1. Ключарева С.В., Пономарев И.В., Опыт применения лазера на парах меди в лечении ксантаматоза кожи. // Вестн. дерматологии и венерологии. 2007. – №4. – С. 52-54.

### **Секция XIII**

#### **Реновационные технологии**

Председатель:

**Ступников Владимир Григорьевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-13

Ученый секретарь:

**Соловьева Анастасия Андреевна**

ассистент кафедры МТ-13

**УДК 621.74: 669.3**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОГРАММЕ ПОЛИГОН**

Рамиль Ринатович Айзатуллин, Игнатий Алексеевич Новиков

*Студенты 3 курса, специалитет  
кафедра «Технологии обработки материалов»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: К.А. Батышев,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»  
К.Г. Семенов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

В данной работе для моделирования литейного процесса заливки и затвердевания блока рабочих лопаток использовали программы NX Unigraphics и Полигон, построение «сетки» проводилось в NX Unigraphics, а само моделирование процесса - в Полигон соответственно.

Программа NX позволяет выполнить моделирование деталей и сборок изделия, провести анализ пересечений и расчет массы, подготовить 2D-документацию — чертежи или 3D-документацию с использованием PMI (размеры и аннотации наносятся на 3D-модель).

Первая версия СКМ ЛП «ПолигонСофт» (старое название – САМ ЛП «Полигон») разработана в 1989 году в Центральном научно-исследовательском институте материалов (ЦНИИМ, Санкт-Петербург) по тематике Министерства оборонной промышленности. До сих пор это единственная конечно-элементная СКМ ЛП в России.

Одно из несомненных преимуществ «ПолигонСофт» – создание модели усадочной макро- и микропористости, которая позволяет прогнозировать образование дефектов в отливках ответственного назначения (рабочие и сопловые лопатки ГТД, моноколеса, крыльчатки насосов и т.п.) [1]. Долгое время эту модель можно было назвать самой передовой и точной в мире. И сегодня СКМ ЛП «ПолигонСофт» успешно конкурирует с лучшими мировыми СКМ ЛП, проигрывая им по функциональности, но не по точности прогноза усадочных дефектов [2].

Исходными данными для моделирования литейного процесса были: толщина керамической оболочки – 8 мм; прокалка перед заливкой – в камерной электропечи (1050-1055°C); заливка в плавно-заливочной установке УППФ; температура муфеля - (1070±5) °C; время перемещения формы из прокалочной печи под заливку – 30 сек; время выдержки формы в муфеле в вакууме до заливки – 7 мин; температура заливки металла в форму – (1530±5) °C; выдержка в муфеле после заливки – не менее 5 мин; выдержка в термостате с температурой – (900±50) °C – не менее 1 час.

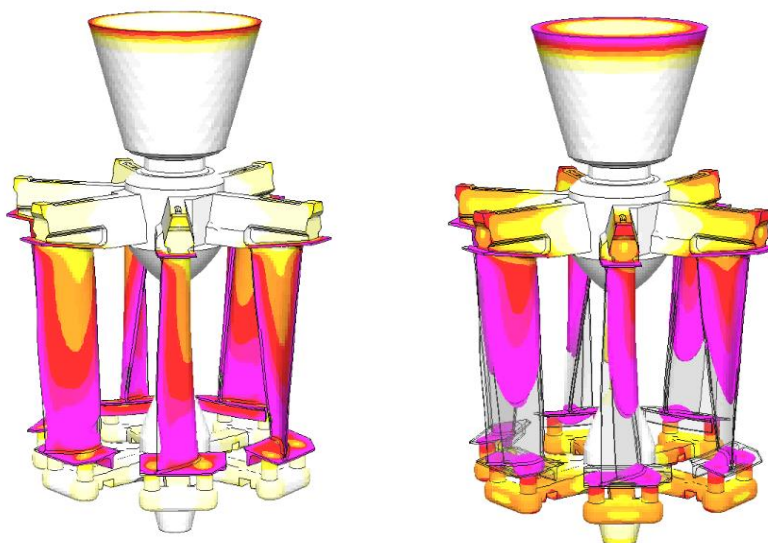


Рис. 1. Распределение температур по программе Полигон.

По результатам моделирования отливок в системе Полигон (рис. 1) видно, что температуры в отливке распределены достаточно равномерно, что уменьшает вероятность образования дефектов в лопатках. Быстрее всех начинает застывать самая тонкая часть отливки – выходная кромка лопатки, далее затвердевание протекает по всему профилю пера лопатки и переходит в замок лопатки, после чего затвердевают более массивные части литниковой системы и питатели. В последнюю очередь застывает литниковая чаша. Тем самым реализуется рациональный процесс направленного затвердевания от тонких участков к массивным.

Вывод: использование современных отечественных компьютерных программ для моделирования процессов затвердевания позволяет получать отливки ответственного назначения с гарантированным уровнем качества.

#### Литература.

1. Проектирование и производство заготовок: Учебник / Батышев А.И., Батышев К.А., М.: Изд-во МГОУ, 2013 – 248 с.
2. Традиционные и перспективные технологические процессы в машиностроении. Учебник / Черпахин А.А., Кузнецов В.А., Исин Д.К., Батышев К.А и др. - Караганда: Изд-во КарГТУ, 2016. – 481 с.

УДК 623.445

### ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В ВОЕННОЙ ОТРАСЛИ.

Кирилл Викторович Арефьев

Студент 2 курса, специалитет  
кафедра «Транспортные установки»

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет  
(МАДИ)

Научный руководитель: Т.М. Ткачева,  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»

В настоящее время во многих странах ведется разработка экзоскелетов. Это боевое устройство способно совершить реновацию в военном деле, что повысит военную мощь армии. Но возникают проблемы, связанные с компактностью самого устройства и его источниками питания. Решение этих проблем, а также усовершенствование устройства и его отдельных частей является актуальной задачей.

Данная работа посвящена изучению экзоскелета, нахождению его оптимальной конструкции и удовлетворяющего источника питания.

Экзоскелет (рисунок 1) предназначен для увеличения выносливости человека за счет внешнего каркаса<sup>[1]</sup>. Существуют множество принципов классификации, одним из таких является – по источнику энергии и принципу электроэнергии. Подразделяются на активные и пассивные.

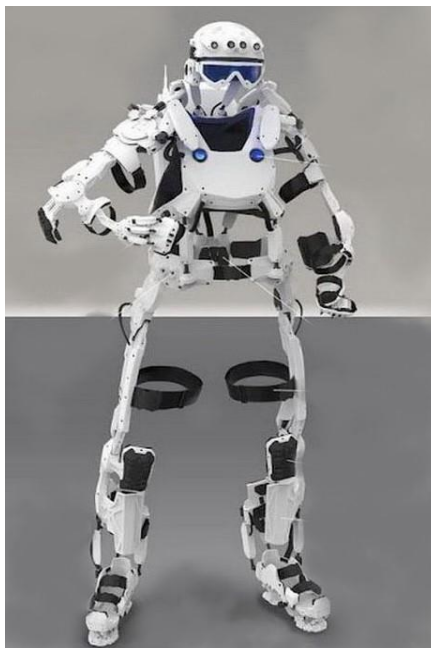


Рис. 1. Прототип каркаса экзоскелета

Пассивные экзоскелеты, где движение инициирует сам человек (механика основана на использовании кинетической энергии и силы человека), имеют большие недостатки (невозможность модификации и установка вспомогательных устройств, относительно невысокая скорость передвижения, невозможность эксплуатации при сильном физическом утомлении), но есть одно преимущество (не зависит от источников питания).

Активные экзоскелеты используют в качестве источника энергии устройство, которое способно преобразовывать электрическую энергию в механическую. Преимуществами являются: высокая скорость передвижения, значительное увеличение силы носителя и возможность модифицирования, что позволит выполнить больший объем работы. Недостатками же являются дороговизна, обслуживание и ремонт оборудования, зависимость от внешних факторов (климатических) и от источника питания электроэнергии.

Активный экзоскелет является оптимальной моделью, хоть он и проигрывает по некоторым позициям, но установка дополнительных устройств (прибор ночного видения, система жизнеобеспечения) дает ему преимущество. Какой же тогда источник питания будет использоваться?

Прежде всего важными критериями источника питания являются безотказность и автономность. Выбор пал на радиоизотопный термоэлектрический генератор (плутоний-238) и бета-вольтаический источник тока (тритий, никеля-63).

Радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ) использует тепловую энергию, выделяющуюся при естественном распаде радиоактивных изотопов и



преобразующий её в электроэнергию с помощью термоэлектрогенератора<sup>[3]</sup>. Выходная мощность весьма невелика (до нескольких сотен ватт) при небольшом КПД. Зато в них нет движущихся частей и они не требуют обслуживания на протяжении всего срока службы.

Бета-вольтаический источник тока основан на бета-вольтаическом эффекте: бета-излучение радиоактивного изотопа никеля с помощью полупроводника преобразуется в электрическую энергию (аналог фотоэлектрического эффекта). КПД, по сравнению с РИТЭГ, выше, а также источник компактней, чем предыдущий вариант.

В результате исследования удалось: аналитически определить оптимальную конфигурацию экзоскелета, а также подобрать источник питания; изучить перспективы внедрения в военную и другие отрасли.

### Литература

1. *Аведиков Г.Е., Жмакин С. И.* Экзоскелет: конструкция, управление // в сборнике: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 84–90.
2. *Боровин Г.К., Костюк А. В.* Математическое моделирование гидравлической системы управления экзоскелетона. // Д. Сит3 05-7/294 М.: [б.и.] – 2004.
3. Радиоизотопный термоэлектрический генератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=88149080/>

### УДК 621.787

## РЕНОВАЦИЯ НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Всеволод Сергеевич Боронтов, Максим Сергеевич Бычков,  
Леонид Сергеевич Вишняков

*Студенты 1 курса, бакалавриат  
секция кафедры «Технологии обработки материалов»  
Мытищинский филиал Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: В. В. Абраумов  
доктор технических наук, профессор секции кафедры «Технологии обработки  
материалов» МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

В комплекс машин, осуществляющих различные технологические операции по заготовке древесины на лесосеках, входят рубильные машины, предназначенные для переработки порубочных остатков (сучьев, тонкомерных деревьев и вершин) в технологическую щепу, которая используется для изготовления древесных композитов. Некондиционная щепка, получаемая непосредственно на лесосеках с помощью рубильных машин прицепного типа, утилизируется на месте переработки. Рабочий орган этих машин выполнен в виде плоского или профильного (геликоидального) диска, на котором установлены ножи.

Для оснащения режущего органа используются дорогие импортные ножи и более дешевые ножи отечественного производства, изготовленные из легированных сталей марок 6ХС, 6Х2ВС, 5ХНВС, 5ХНМ и др.

Целью исследований является разработка технологии восстановления ножей, отработавших свой срок эксплуатации, в условиях ремонтно-механических мастерских лесозаготовительных предприятий, имеющих, как правило, кузнечный участок с необходимым кузнечно-прессовым оборудованием. Экспериментальные исследования были выполнены в лаборатории секции кафедры МТ-13 Мытищинского филиала.

В процессе резания рабочая часть рубильных ножей испытывает большие динамические нагрузки, а режущая кромка из-за высокой загрязненности древесины подвергается интенсивному абразивному изнашиванию. Поэтому инструментальный материал должен обладать высокой твердостью 54...58 HRC и ударной вязкостью не менее 16...19 Дж/см<sup>2</sup>.

В основу восстановления геометрических параметров изношенных ножей предлагается технология формирования многослойной конструкции ножа (так называемый «сэндвич»), состоящей из подложки на основе конструкционной качественной стали (сталь 40,45) и обеспечивающей необходимую прочность ножа, и режущей части из инструментальной стали. Для этого предварительно подготовленные пластины подвергались кузнечной сварке с использованием флюса на основе буры, смеси буры и тонкодисперсного кварцевого песка. Проковкой заготовки обеспечивались требуемые геометрические размеры. Стандартная термическая обработка (закалка + низкий отпуск) позволила получить требуемую твердость 56...60 HRC.

Температура нагрева под закалку и отпуск определялась по справочнику в зависимости от химического состава инструментальной стали. Охлаждающая среда – индустриальное масло, температура 25 °С. Структура инструментальной стали – троостомартенсит. Наличие мартенситной составляющей повышает хрупкость стали и снижает её ударную вязкость.

С целью повышения пластичности стали, что необходимо для рубильных ножей, испытывающих большие ударные нагрузки, были выполнены два вида термомеханической обработки (ТМО) [1-4]: высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) и низкий отпуск: высокотемпературная термомеханическая обработка с изотермической закалкой и низкий отпуск.

В первом случае многослойная заготовка (6 слоев) нагревалась в кузнечном горне до аустенитного состояния (температура определялась визуально по цветам накала) и подвергалась пластической деформации (степень деформации составляла 25%). В результате деформации зерен и последующего быстрого охлаждения происходит упрочнение стали как за счет мартенситного превращения, так и за счет дефектов строения, унаследованных мартенситом от деформированного аустенита. Отпущенный мартенсит имеет мелкоигольчатое строение. Твердость образцов составила (составляла) 54...58HRC.

Во втором случае производилась деформация заготовки в аустенитном состоянии, степень деформации составила 25%. Быстрое охлаждение в расплаве калиевой селитры при температуре 320<sup>0</sup>С и выдержка в расплаве в течение 10 минут обеспечили получение структуры нижний бейнит с твердостью 54...58 HRC.

Особенностью этой структуры является сочетание высокой твердости, прочности и высокой пластичности стали.

С целью исследования свойств стали типа «дамаск» были сформированы два пакета с чередующимися пластинами из сталей: 9ХФ и сталь 45; У12 и сталь 45. После многократной кузнечной сварки и проковки получены заготовки толщиной 8мм, имеющие 300 чередующихся пластин с толщиной 25...30 мкм. Термическая обработка: закалка с

температуры 860 °С (сталь 9ХФ + сталь 45), 780°С (сталь У12 + сталь 45). Охлаждающая среда – индустриальное масло и вода соответственно. Температура низкого отпуска - 180°С. Твердость образцов составила – 54...60 HRC. Структура образцов неоднородна, имеются инородные включения.

Выводы:

1. Показана техническая возможность реновации рубильных ножей в условиях лесозаготовительных предприятий.

2. Выбор оптимального состава сталей и способа упрочняющей термической обработки требует дальнейших исследований.

### Литература

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648с.
2. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648с.
3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 646с.
4. Попов А.А., Попова Л.Е. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. – Москва – Свердловск: Машиностроительная литература, 1961. – 430с

## УДК 621.9.: 631.371

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Ганзориг Бямбажаргал

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Федоров С.К.,*

*Доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

Износ посадочных поверхностей валов под подшипники качения является одной из существенных причин снижения надежности работы автомобилей, автобусов, троллейбусов, тракторов, бульдозеров, электродвигателей, насосов, силовых редукторов и другой техники. Посадочные шейки под подшипники качения являются базовыми поверхностями валов, от точности вращения и износостойкости которых, зависит нормальная работа зубчатых колес и шестерен коробок скоростей и передач, КПД электродвигателей и насосов, безопасность шкивов верхнего привода бурильного оборудования, грузоподъемного оборудования лифтов и шахт.

Одним из эффективных методов повышения долговечности валов является электрохимическая обработка и ее основные направления при закалке, отделочно-упрочняющей обработке и восстановлении изношенных поверхностей [1-3]. Упрочняющее электрохимическое восстановление (УЭМВ) посадочных поверхностей валов под подшипники качения, за один ход инструментального ролика, решает проблему увеличения размера шейки вала и повышения твердости. Метод позволяет

восстанавливать изношенные шейки валов с величиной износа по диаметру до 0,1 мм без использования дополнительных материалов. Структурные превращения при УЭМВ, сопровождающиеся изменением кристаллической решетки в поверхностном слое вала, приводят к увеличению его диаметра, по сравнению с изношенным участком детали.

Для реализации процесса УЭМВ посадочных поверхностей валов под подшипники качения используется токарно-винторезный станок, установка электромеханической обработки (например, модели «Эталон»), державка телескопическая, токоподводящее устройство, шины медные гибкие, инструментальный и токоподводящий ролик.

### **Литература**

1. *Аскинази Б.М.* Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. М.: Машиностроение. 1989. 200 с.
2. *Федоров С.К., Федорова Л.В.* Электромеханическая обработка // РИТМ – 2012. – №2(70). С. 14-16.
3. *J. S. Alekseeva, L.V. Fedorova, S.K. Fedorov, I.N. Kapustin.* Improving the quality of the surface layer of steel parts // Proceeding of 5-th International Mechanical Engineering Forum (IMEF). 2012. Prague, Czech Republic. С. 65-74.

**УДК 53.084.823**

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ**

Инь Шуай

*Аспирант первого года*

*кафедра «Робототехнические системы и мехатроника»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Ющенко,*

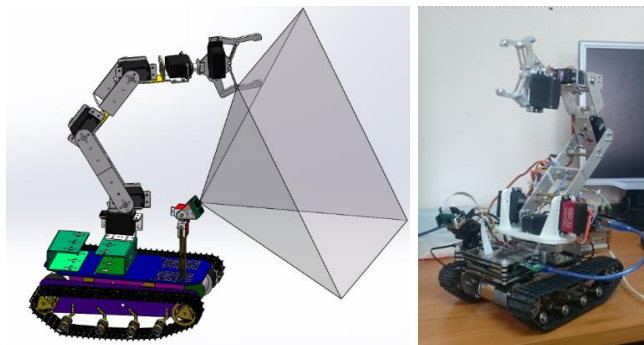
*доктор технических наук, профессор кафедры «Робототехнические системы и мехатроника»*

### **1. Введение**

В настоящее время, нужно приложить много ручного труда для транспортировки товаров на складах, в супермаркетах. Для того чтобы автоматизировать эту работу, нужно разработать новый робот, который сможет самостоятельно выполнять задачу транспортировки объектов и размещения их в указанное место.

### **2. Описание способа управления роботом**

Как видно из рис. 1, мобильный робот на гусеничном шасси оснащен манипулятором, имеющим 6 степеней свободы, который имеет 6 сервоприводов. Гусеничный движитель позволяет обеспечить независимое управление траками.



а) б)  
Рис 1. а) 3D – изображение робота, б) реальный робот

Только одна цветная видео-камера размещена на платформе. Она позволяет с помощью системы компьютерного зрения найти определенный объект пороговым методом [1] и вычислить его пространственные координаты по принципу пространственной перспективы. Задача обработки изображений выполняется с помощью программного пакета OpenCV [2] по полученным пространственным координатам объекта. Когда робот получает пространственные координаты объекта, требуемое положение манипулятора в пространстве определяется путем решения обратной задачи кинематики. Рассмотрим эту задачу более подробно.

Для манипулятора, имеющего три степени подвижности (рис. 2) требуется перевести конечную точку кинематической цепи из точки  $(x, y, z)$  в точку  $(x_1, y_1, z_1)$ . Эту задачу можно свести к более простой задаче управления манипулятором с двумя степенями подвижности. Рассмотрим три случая.

Общие условия даны:

$$0 \leq \theta_1 \leq 180^\circ; 0 \leq \theta_2 < 180^\circ - \arccos \frac{l_2}{\sqrt{l_2^2 + l_3^2}}; 0 \leq \theta_3 \leq 90^\circ;$$

Первый случай: движение при постоянном угле  $\theta_1$  (рис 2). Имеем

$$l_2 + l_3 \geq \sqrt{(x_1 - l_1 \cdot \sin \theta_1)^2 + (z_1 - l_1 \cdot \cos \theta_1)^2} \geq \sqrt{l_2^2 + l_3^2};$$

Перейдем на новую координатную  $(X_1, Z_1)$

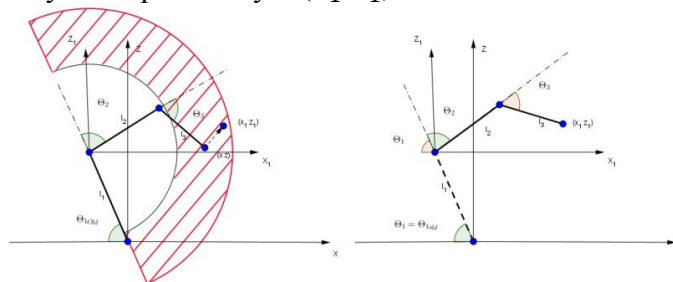


Рис 2. Схема первого случая

Теперь снова имеем задачу: «Две степени подвижности в плоскости  $(X, Z)$ ».

Второй случай: пусть  $\theta_3 = \theta_{3\_old}$  (рис 3), тогда необходимо выполнить условие

$$l_1 + l_4 \geq \sqrt{x_1^2 + z_2^2} \geq |l_1 - l_4|; \text{ где } -l_4 = \sqrt{l_2^2 + l_3^2};$$

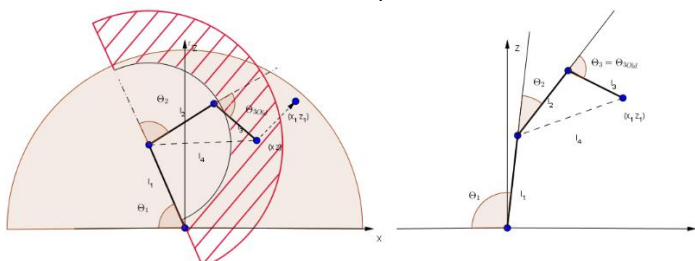


Рис 3. Схема второго случая

Это также задача «Два степени подвижности в плоскости (X, Z)».

Третий случай: не выполняются ни условия первого случая, ни условия второго.

Значит, решения не существует.

Рассчитаем угол  $\phi$  (рис 4) (вид сверху).

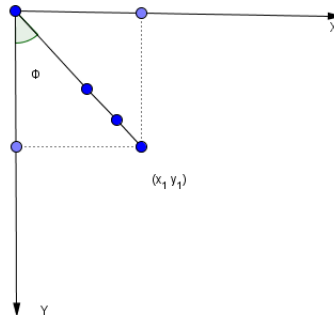


Рис 4. Решение угол  $\phi$

Имеем:  $\Phi = \tan^{-1}(\frac{x_1}{y_1})$ , таким образом, все решения получены.

Для того, чтобы решить задачу в третьем случае, платформе необходимо двигаться таким образом, чтобы объект оказался в рабочей зоне манипулятора.

Рабочая зона манипулятора удовлетворяет условию:

$$|l_1 - \sqrt{l_2^2 + l_3^2}| < l < (l_1 + l_2 + l_3);$$

где  $l$ - расстояние из робота в объект.

При этом будет обеспечена и необходимая ориентация платформы. Для управления платформой мобильного робота можно использовать, например, методы нечеткой логики. [3].

### 3. Моделирование движения робота

Моделирование движения робота проводилось в пакете Matlab с использованием программ Simscape (рис 5), 3D-Animation и Stateflow. Программа Simscape позволяет моделировать динамику робота, а в Stateflow был разработан регулятор управления роботом. Программа 3D-Animation позволяет воспроизвести текущее положение робота.

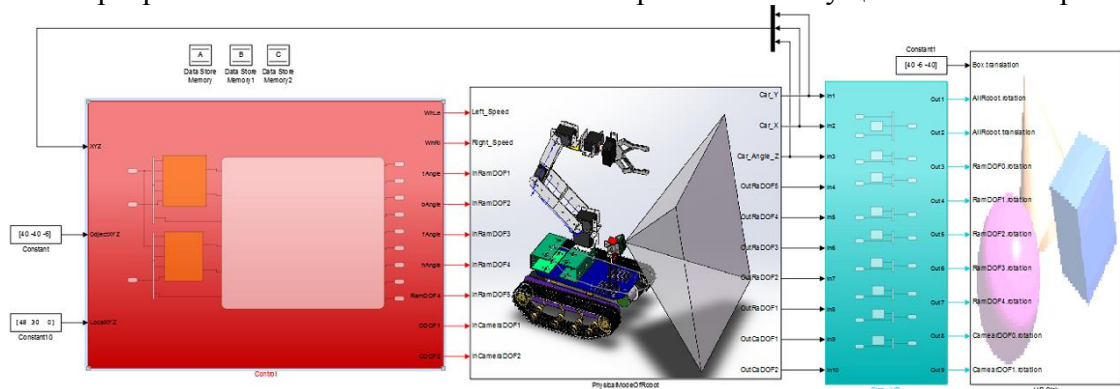


Рис 5. Полная модель робота в пакете Simlink

Подсистема, моделирующая регулятор имеет три входа: координаты объекта, координаты платформы и координаты целевой точки. Все входы описываются векторами [1x3]. Координаты объекта и координаты целевой точки задаются пользователем, а координаты платформы вычисляются путем решения уравнений, описывающих движение робота.

Некоторые результаты моделирования приведены ниже (рис 6). Правая часть этого рисунка показывает изменение координат манипулятора, центральная часть этого рисунка иллюстрирует положение трехмерной модели робота, верхняя левая часть рисунка

показывает траекторию движения платформы, внизу слева показано изменение положения камеры. Желтые линии соответствуют сигналам управления, которые формируются регулятором StateFlow, а красные соответствуют движению модели.

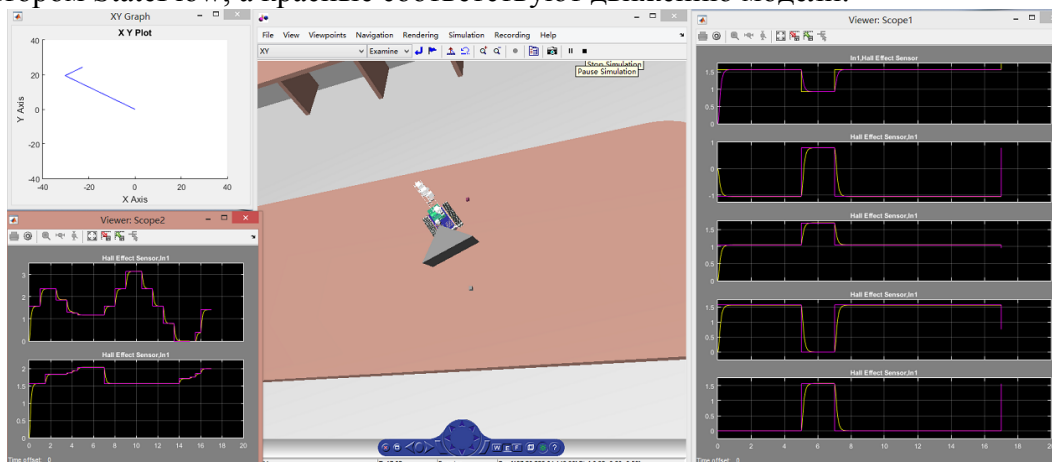


Рис 6. Результат моделирования

#### 4.Аппаратное решение

Система управления макетом мобильного робота была реализована с помощью контроллера Ардуино и двух периферийных устройств L298N и PCA9685 для управления приводами. Полная схема устройства управления показана на рис.7. Микросхема PCA9685 управляет 8 сервоприводами манипулятора и камеры. Из них два управляют положением камеры, а остальные перемещают манипулятор. Контроллер отправляет 8 углов через интерфейс I2C в PCA9685, далее PCA9685 преобразовывает эти углы в ШИМ. Микросхема L298N получает сигналы ШИМ из контроллера и управляет двигателями постоянного тока, которые установлены на платформе. Основная задача микрокомпьютера Raspberry pi состоит в том, что обработать информации из камеры и передать пространственные координаты объекта в контроллер Ардуино.

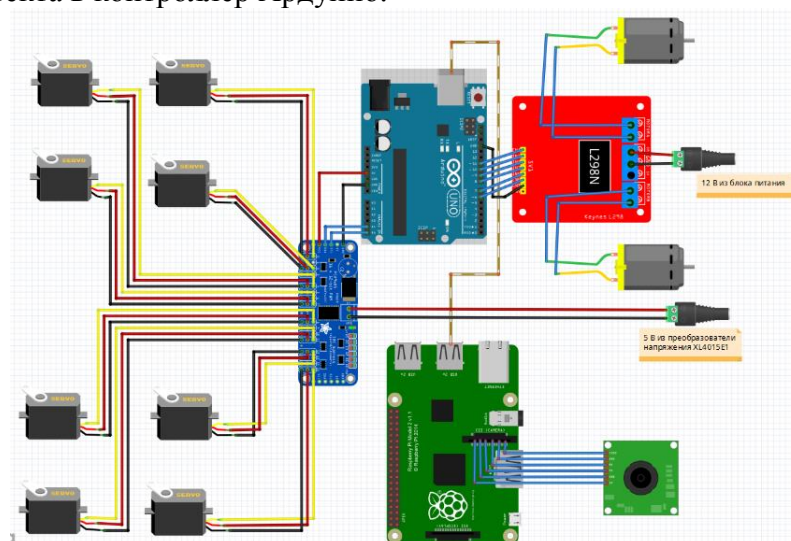


Рис 7. Полная схема устройства управления роботом

#### 5.Заключение

Как показали эксперименты, робот может самостоятельно выполнять захват, транспортировку объекта и его размещение в указанное место с использованием только одной камеры. В дальнейшей работе, планируется разработать диалоговую систему управления роботом [4]. Основной задачей диалоговой системы является обмен информацией между оператором и роботом. Это потребует использования методов

искусственного интеллекта при решении задачи распознавания объектов и команд оператора.

#### **Литература**

1. *Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.*, компьютерная обработка и распознавание изображений/учебное пособие. СПбГУ ИТМО, 2008. -56
2. *Alexander Mordvintsev, Abid K*, OpenCV-Python Tutorials Documentation// Электрон. журн.-2017 <https://media.readthedocs.org/pdf/opencv-python-tutroals/latest/opencv-python-tutroals.pdf> (дата обращения 05.11.2017)
3. *Ющенко А.С.* Управление роботами с использованием нечеткой логики: состояние и проблемы/ Новости искусственного интеллекта. – 2006. – №1. – С.119-130.
4. *Ющенко А.С.* Диалоговое управление роботами на основе нечеткой логики. - Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», 25-26 сентября 2012, – Изд. «Политехника-сервис», Санкт-Петербург, 2012, с. 29-36

#### **УДК 621.09**

### **МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛА НА ТОЧНОСТЬ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ**

Александр Александрович Кайсаров

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В. Б. Самойлов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

Получение заданной точности обработки деталей и сохранение её в процессе эксплуатации металлорежущего оборудования является одной из приоритетных задач станкостроения. Термический рост часто является основной причиной ошибок обработки информации в устройствах ЧПУ (числового программного управления), что может значительно снижать точность оборудования. В некоторых случаях термический рост может составлять 40-70% от общей ошибки обработки. Поэтому очень важно уметь выявлять источники тепла и оценивать степень их влияния на точность.

Для того чтобы понимать, как уменьшить влияние тепловых деформаций на точность обработки, надо знать источники тепловыделений. Источники тепла принято разделять на внутренние и внешние. К внутренним источникам тепловыделений относятся: опоры шпинделя; системы смазки и гидравлики; направляющие; ходовые винты; электродвигатели; электросистема станка; устройство ЧПУ; система охлаждения; редуктора приводов подач и привода главного движения; процесс резания. Внешними источниками тепловыделений являются: отопление; фундамент; солнечные лучи; воздух; осветительные приборы и т.д.

Возникающие при работе станка тепловые деформации механизмов и узлов приводят к изменению положения рабочих органов станка и искажению траектории их перемещения. При этом искажение траектории перемещения рабочих органов станка



поверхности, а погрешность положения рабочих органов приводит к возникновению погрешности размера обрабатываемой детали.

Зная источники тепла, и определив при помощи датчиков и тепловых сенсоров их численные значения, можно переходить от диагностики к модернизации станка. Основными направлениями в модернизации станка будут являться сокращение источников тепла, получение более термостойкой конструкции и компенсация тепловых деформаций.

Наибольший эффект в борьбе с тепловыми деформациями, как показывает опыт, будет достигнут при комплексном подходе к данной проблеме. Так, например, при использовании подшипников с керамическими телами качения можно значительно снизить количество выделяемого тепла в опорах шпинделя (керамические подшипники нагреваются приблизительно в 1,8 раза меньше, чем остальные). Добавив к этому правильный подбор СОТС (смазочно-охлаждающих технологических средств) и контроль постоянной температуры в помещении, где находится оборудование, то можно получить значительное снижения негативного влияния тепловых деформаций на точность станка.

### Литература

1. Проников А.С., Юрин В.Н. Управление тепловыми деформациями металлорежущих станков с целью повышения технологической надежности. – Надежность и контроль качества, 1973, №10. с. 27-38.
2. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т.1. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.; ил.

УДК 67.02, 620.172.2, 004.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧАЕМОГО МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБС-ПЛАСТИКА

Наталья Владимировна Камоничкина

*Магистр 1 курса*

*кафедра "Технологии обработки материалов"*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: И.В.Кочешков*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

### **Актуальность работы и цели исследований.**

Аддитивные технологии в настоящее время являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений "цифрового" производства. Этот вид технологий имеет большие перспективы при производстве машиностроительных изделий и проведении ремонтных работ. Аддитивные технологии основаны на использовании 3Д-принтеров [1]. Из семи базовых принципов процесса 3Д-печати, отмеченных в [1], сегодня наибольшее распространение имеет экструзия материала, который выборочно подаётся через сопло или жиклёр. Этот вид 3Д-печати в технической литературе принято называть FDM-печатью (Fused Deposition Modeling).

Широкое распространение FDM-печати объясняется относительной дешевизной этого вида 3Д-принтеров и широкими технологическими возможностями при производстве различного вида изделий. Однако нельзя утверждать, что прочностные характеристики материала деталей, получаемых с использованием FDM-печати, соответствуют прочностным свойствам материала нитей, которые при этом используются.

Нанесение чередующихся слоёв последовательным наплавлением нитей ведёт к образованию многоуровневой физической структуры материала. Формируемая структура может отличаться анизотропией свойств относительно направления укладки нитей, различием толщин укладываемых слоёв, наличием разного вида дефектов, своеобразием механизмов разрушения материала. Перечисленные выше факторы отражаются на прочностных характеристиках получаемых материалов.

Наиболее распространёнными материалами для получения изделий методом FDM-печати, являются пластики. Примером часто применяемого при 3D-печати пластика является АБС-пластик. Поэтому целью данной работы является исследование прочностных характеристик материала, получаемого FDM-печатью с использованием АБС-пластика.

#### Описание методики и условий изготовления образцов.

Материал, получаемый FDM-печатью, может иметь разную структуру, но она обязательно будет состоять из совокупности объёмов с однонаправлено уложенными нитями. Это определяется технологическими особенностями реализации FDM-печати. Следовательно, для того, чтобы определиться с прочностными свойствами материала получаемого FDM-печатью, надо в первую очередь исследовать прочность модельного материала с однонаправлено уложенными нитями. Для того, чтобы оценить прочностные характеристики материала и анизотропию свойств испытания необходимо провести вдоль и поперёк направления укладки нитей.

Форма и размеры образцов для испытаний на растяжение принимались в соответствии с ГОСТ 11262-80 "Пластмассы. Метод испытания на растяжение". Для проведения исследований выбран образец второго типа (рис.1). 3D-печать производилась с использованием мононити из пластика ABS+ производителя СтримПласт, поставляемой по Техническим условиям - ТУ 2291-001-24687042-2016. В соответствии с этими техническими условиями мононить должна обладать прочностью при растяжении не менее 47 МПа и печать должна осуществляться в интервале температур 220-250<sup>0</sup>С.

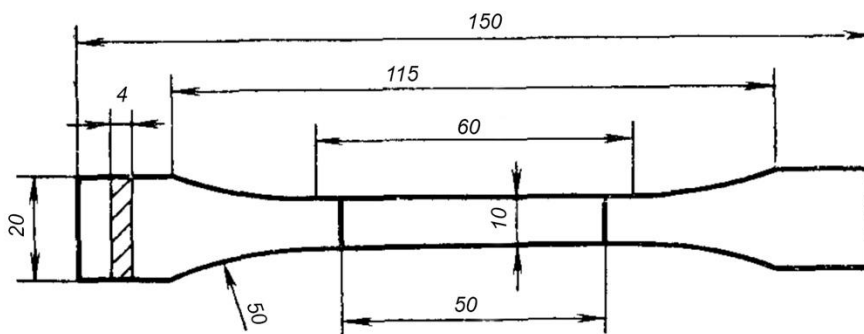


Рис.1 Эскиз образца для проведения испытаний на растяжение.

3D-печать позволяет сразу изготавливать образцы для проведения испытаний на прочность при растяжении, минуя этапы получения первичной заготовки и последующей вырезки из неё образцов. Порядок укладки нити (G-код) готовился в программе Simplify3D версии 4.0 по ГОСТ 20999-83 «Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ» с учетом расположения нитей в рабочей части образца вдоль или поперек направления растяжения. FDM-печать осуществлялась на 3D-принтере Picaso Designer Pro250 с диаметром сопла экструдера 0,3 мм.

Перед печатью для улучшения адгезии материала стол покрывался специальным связующим марки The3D. Температура стола составляла  $110^{\circ}\text{C}$ , а температура сопла экструдера -  $240^{\circ}\text{C}$ . Печать осуществлялась по трём режимам:

- ✓ Режим 1: при скорости движения сопла экструдера  $V_c=30$  мм/сек и толщине укладываемого слоя нити  $h_{\text{сл}}=100$  мкм;
- ✓ Режим 2: при скорости движения сопла экструдера  $V_c=45$  мм/сек и толщине укладываемого слоя нити  $h_{\text{сл}}=150$  мкм;
- ✓ Режим 3: при скорости движения сопла экструдера  $V_c=60$  мм/сек и толщине укладываемого слоя нити  $h_{\text{сл}}=200$  мкм;

Полученные образцы испытывались на растяжение при скорости раздвижения зажимов испытательной машины, соответствующей  $1\pm 0,5$  мм/сек (минимальная скорость раздвижения зажимов испытательной машины, предусмотренная ГОСТ 11262-80).

#### **Обсуждение полученных экспериментальных данных.**

Экспериментальные данные по результатам испытания материала, полученного FDM-печатью с использованием АБС-пластика, вдоль и поперёк укладки нитей представлены на рис. 2. Из представленных данных видно, что прочность на растяжение материала, полученного по всем трём режимам 3Д-печати в направлении укладки нитей близка по своим значениям и находится на уровне 31-33,5 МПа. Если использовать данные производителя по прочности используемой при FDM-печати мононити (47 МПа), то эти значения примерно на 31% ниже. Однако для проведения более корректного сравнения уровней прочности этих двух материалов необходимо уточнить насколько условия испытания мононитей совпадают с условиями их нагружения в модельном материале.

Прочность модельного материала поперёк укладки нитей существенно ниже и сильнее зависит от режимов FDM-печати (рис.2). Скорость движения сопла экструдера в совокупности с толщиной укладываемого слоя влияют на прочность сцепления нитей. Связано это с распространением тепла от сопла в материал. При большой скорости печати в любой момент времени в конкретной точке пластику передается меньше тепла, нежели при малой скорости. Если производить печать малого слоя на низкой скорости, то тепла может отдаваться слишком много. Это увеличит адгезию, но возникнет вероятность образования дефектов в виде наплывов пластика. И наоборот: если производится 3Д-печать с большей толщиной слоя на высокой скорости, тепла может быть недостаточно для образования хорошей адгезии между нитями.

Высказанное предположение подтверждается полученными экспериментальными данными (рис.2). На режиме 1 (минимальная скорость печати и толщина, укладываемого слоя) прочность модельного материала поперёк укладки нитей максимальна и составляет 20,2 МПа (67% от прочности материала вдоль укладки нитей), на режиме 2 - 14 МПа (41% от прочности материала вдоль укладки нитей) и на режиме 3 - 15,9 МПа (51% от прочности материала вдоль укладки нитей). То есть при переходе от режима 1 к режиму 2 3Д-печати происходит снижение прочности на растяжение образцов с поперечной укладкой нитей, в результате более сильного влияния увеличенной толщины укладываемого слоя нитей, чем увеличение скорости печати. А при переходе от режима 2 к режиму 3 преобладающее влияние оказывает увеличение скорости печати, что приводит к небольшому повышению прочности материала (рис.2).

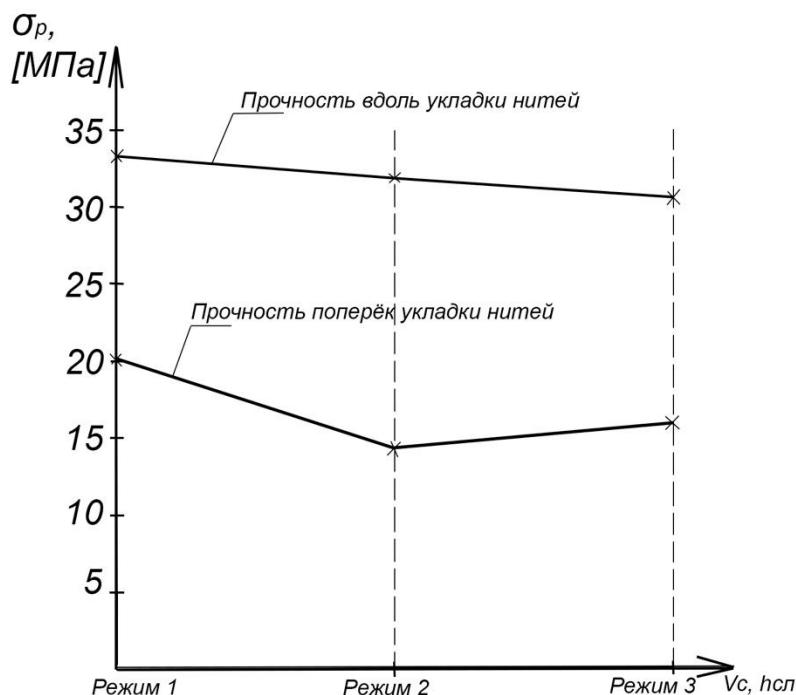


Рис. 2 Зависимость прочности на растяжение  $\sigma_p$  модельного материала с продольной и поперечной укладкой нитей, полученного при разных режимах 3Д-печати (Режим 1 -  $V_c=30$  мм/сек,  $h_{сл}=100$  мкм; Режим 2 -  $V_c=45$  мм/сек,  $h_{сл}=150$  мкм; Режим 3 -  $V_c=60$  мм/сек,  $h_{сл}=200$  мкм.)

Образцы модельного материала с продольной и поперечной укладкой нитей имеют разный вид диаграммы растяжения и поверхности разрушения. Если диаграмма растяжения образцов с поперечной укладкой нитей имеет характерный вид для хрупкого разрушения, то на диаграмме растяжения образцов с продольной укладкой волокон после небольшого снижения усилия растяжения, после достижения максимума, наблюдается постепенное его падение до момента разрушения образца.

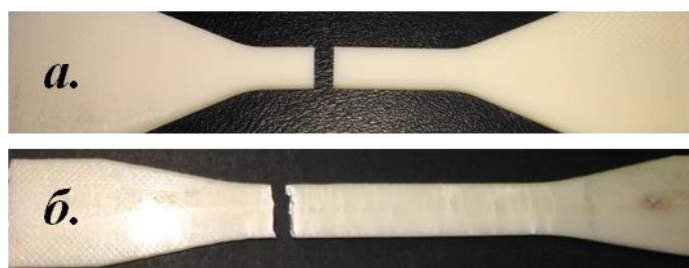


Рис. 3 Характер разрушения образцов с поперечной (а) и продольной (б) укладкой нитей.

Образцы с поперечной укладкой волокон (рис.3а) имеют абсолютно плоскую поверхность разрушения, а у образцов с продольной укладкой волокон (рис.3б) наблюдается развитая поверхность разрушения. При исследовании этих изломов на оптическом микроскопе видно, что разрушение материала с поперечной укладкой волокон происходит в одной плоскости (рис. 4а) по поверхности уложенных нитей. Излом модельного материала с продольной укладкой волокон (рис. 4б) имеет развитый характер. Разрушение идет в разных плоскостях и на изломе наблюдаются как участки накопления повреждений, так и плоские зоны, характерные для магистрального распространения трещин.

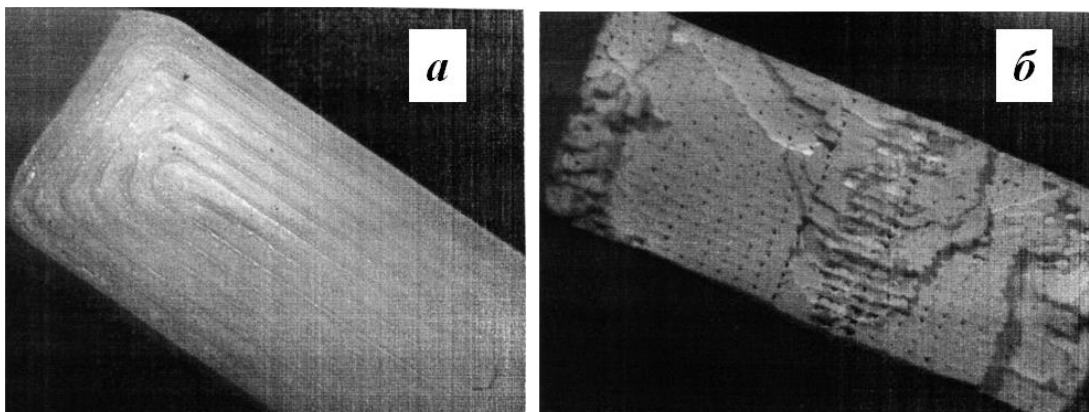


Рис. 4 Вид излома образцов с поперечной (а) и продольной (б) укладкой нитей.

#### Заключение

- ✓ Для модельного материала, полученного FDM-печатью с использованием АБС-пластика, при укладке нитей вдоль направления приложения нагрузки не выявлено зависимости прочности на растяжение от режимов 3Д-печати. Прочность на всех режимах печати составила 31-33,5 МПа, что примерно на 31% ниже прочности мононитей, заявленной производителем.
- ✓ Прочность модельного материала с поперечной укладкой нитей составляет 41-67% от прочности, полученной при испытании вдоль укладки волокон. Эта прочность зависит от режимов 3Д-печати. Максимальное значение - 20,2 МПа - получено на режиме 1, при скорости движения сопла экструдера  $V_c=30$  мм/сек и толщине укладываемого слоя нити  $h_{cl}=100$  мкм, а минимальное значение - 14 МПа - наблюдается на режиме 2, при  $V_c=30$  мм/сек и  $h_{cl}=100$  мкм.
- ✓ Образцы модельного материала с продольной и поперечной укладкой нитей имеют разный характер и вид поверхности разрушения:
  - при их поперечной укладке наблюдается абсолютно плоская поверхность разрушения по стыку наплавленных нитей, и, следовательно, величина адгезии между ними является важнейшим фактором, влияющим на значение прочности;
  - при их продольной укладке излом материала имеет развитый характер как с участками накопления повреждений, так и с зонами магистрального распространения трещин. Материал с продольной укладкой нитей при дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть как пучок связанных волокон, что может позволить раскрыть механизмы разрушения подобного материала.

#### Литература

1. ГОСТ Р 57558-2-017 "Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы"

УДК 621.74

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ PROCAST ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАЛИВКИ И ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК**

Валентин Александрович Кателин

*Магистр 2 года,  
кафедра «Машины и технологии литейного производства»  
Московский политехнический университет*

*Научные руководители: К.А. Батышев,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»  
В.П.Монастырский,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного производства», Московский политехнический университет*

Проектирование технологических процессов литья из никелевых сплавов невозможно представить без использования различных систем автоматизированного моделирования литейных процессов [1,2].

Для моделирования литейного процесса заливки и затвердевания блока рабочих лопаток ТНД использовали программу ProCAST. Построение «сетки» проводилось в NX Unigraphics.

Программа NX широко используется в машиностроении, особенно в отраслях, выпускающих изделия с высокой плотностью компоновки и большим числом деталей (энергомашиностроение, газотурбинные двигатели, транспортное машиностроение и т. п.) и/или изготавливающих изделия со сложными формами (авиационная, автомобильная отрасли и т. п.). В частности, по состоянию на 2016 год, эту систему используют такие крупные компании, как ММПП «Салют», «ОКБ им. Сухого», «МВЗ им. Миля», «ГКНПЦ им. Хруничева», «Авиадвигатель», ГП «Антонов» и ряде других.

Программа ProCAST – это профессиональное решение для компьютерного моделирования всех литейных процессов, встречающихся как на отечественных, так и на зарубежных производственных площадках. Система базируется на методе конечных элементов, что обеспечивает высокую точность описания геометрии отливки и формы расчетной модели [3], учет большинства процессов теплового, кристаллизационного, металлургического, напряжено-деформированного характера.

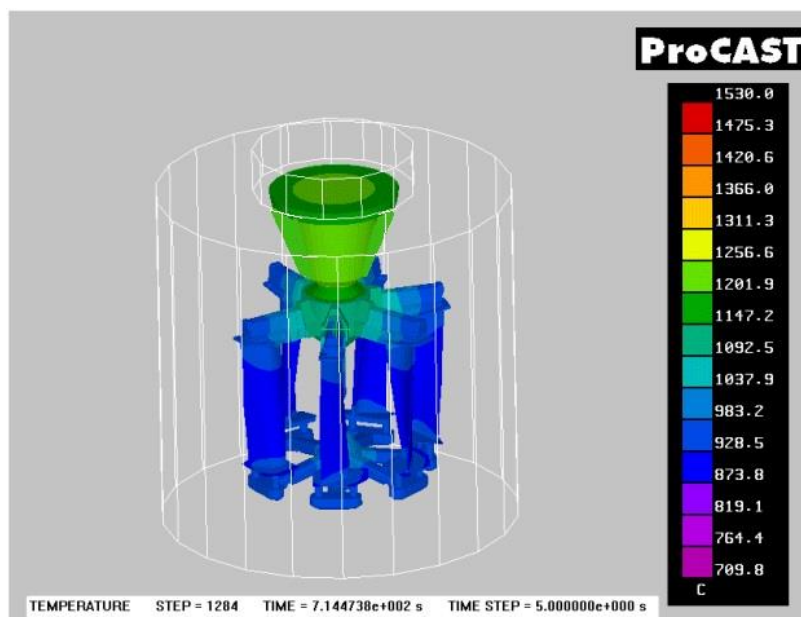


Рис. 1. Распределение температур по программе ProCAST.

Исходными данными для моделирования литейного процесса были:

- толщина керамической оболочки – 8 мм;
- прокатка перед заливкой – в камерной электропечи (1050-1055°C);
- заливка в плавильно-заливочной установке УППФ;
- температура муфеля - (1070±5) °C;
- время перемещения формы из прокаточной печи под заливку – 30 сек;
- время выдержки формы в муфеле в вакууме до заливки – 7 мин;
- температура заливки металла в форму – (1530±5) °C;
- выдержка в муфеле после заливки – не менее 5 мин; выдержка в термостате с температурой – (900±50) °C – не менее 1 час.

По результатам моделирования отливок в системе ProCAST (рис. 1) видно, что температуры в отливке распределены достаточно равномерно, что уменьшает вероятность образования дефектов в лопатках. Быстрее всех начинает застывать самая тонкая часть отливки – выходная кромка лопатки, далее затвердевание протекает по всему профилю пера лопатки и переходит в замок лопатки, после чего затвердевают более массивные части литниковой системы и питатели. В последнюю очередь застывает литниковая чаша. Тем самым реализуется рациональный процесс направленного затвердевания от тонких участков к массивным.

Вывод: из выше перечисленного следует, что производство качественных отливок в авиастроении сегодня невозможно без использования современных компьютерных программ.

#### Литература.

3. Проектирование и производство заготовок: Учебник / *Батышев А.И., Батышев К.А.*, М.: Изд-во МГОУ, 2013 – 248 с.
4. Традиционные и перспективные технологические процессы в машиностроении. Учебник / *Черепяхин А.А., Кузнецов В.А., Исин Д.К., Батышев К.А и др.* - Караганда: Изд-во КарГТУ, 2016. – 481 с.
5. *Батышев К.А., Прохоров А.А., Семенов К.Г., Безпалько В.И.* Анализ применения современных измерительных комплексов для получения качественных отливок // *Современные материалы, техника и технологии*, 2017, №1, С. 32 – 36.

**УДК 621.792+ 621.715.4**

### **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШПИНДЕЛЯ СТАНКА DMG MORI CTX 510 ECOLINE НАНОПОЛНЕННЫМИ АНАЭРОБНЫМИ ГЕРМЕТИКАМИ**

Кильдеев Тимур Анверович

*Студент 4 курса,  
кафедра «Технологии обработки материалов»  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Кононенко,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

Шпиндельный узел (далее – ШУ) является одним из наиболее ответственных узлов любого станка. Воспринимая, в первую очередь, эксплуатационные нагрузки и подвергаясь действию процессов различной скорости, ШУ должен обеспечивать заданные выходные параметры точности и сохранение их во времени [1]. Его быстроходность, точность, жесткость, нагрузочная способность, динамические и тепловые характеристики оказывают существенное влияние на производительность, точность и надежность станка.

Шпиндельный вал или шпиндель – одна из наиболее прецизионных, как следствие, уязвимых деталей ШУ. Зачастую шпиндельный узел перестает работать в нормальном режиме из-за нарушений геометрии шпинделя – выхода за пределы допуска размеров посадочных поверхностей вследствие фреттинг-износа.

Существует несколько методов восстановления изношенных посадок, среди них вибродуговая наплавка, плазменная металлизация, использование специальных ремонтных составов. Эти методы обладают рядом недостатков, среди которых можно выделить неоднородность покрытий, возможность образования усталостных трещин, потребность в спецоборудовании. В настоящее время, широкое распространение при ремонте изношенных посадочных поверхностей получили анаэробные клеи. К их достоинствам можно отнести универсальность и простоту эксплуатации, предотвращение развития фреттинг-коррозии в соединениях, а также высокую проникающую способность, за счет чего достигается равномерное распределение давления по всей площади склеивания и уменьшение внутреннего напряжения в сопрягаемых деталях [2].

Следует отметить, что применение полимерных материалов при ремонте средне и тяжело нагруженных узлов ограничено их невысокими упругими свойствами и прочностными характеристиками. Для улучшения этих показателей используются



нанонаполнители, которые обладают высокой поверхностной энергией и малыми размерами [3].

В зависимости от степени износа посадочной шейки следует выбирать соответствующий метод восстановления. При слабом износе (до 10 микрометров) на сопрягаемые поверхности деталей перед сборкой наносят наномодифицированный анаэробный состав. Если посадка сильно изношена (более 10-15 микрометров), предлагается использовать дополнительную ремонтную деталь – компенсирующую втулку. Необходимо помнить, что тонкостенные детали (втулки) отличаются низкой жесткостью и высокой податливостью. Обработка таких деталей встречает трудности, обусловленные их деформацией под действием сил резания и закрепления [4]. Чтобы избежать этого, обработку тонкостенных втулок следует вести на «мягких» режимах резания, а также применять специальные станочные приспособления.

## Литература

1. *Пуш А.В.* Шпиндельные узлы: Качество и надежность. М.: Машиностроение. 1992. 288 с.
2. Компания Loctite: сайт. Режим доступа: <http://www.loctite.ru/product-search-3772.htm?primaryFacet=000000028Z> (дата обращения 11.03.2018).
3. *Кононенко А.С.* Теория и практика герметизации фланцевых соединений сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозициями: монография / *А. С. Кононенко*. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. – 180 с.
4. Технология машиностроения. В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения / под ред. *А.М. Дальского*. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 370 с.

## УДК 621.7

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА КОЛЬЦО ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Тигран Артёмович Мирвелян

*Магистр 1 года,*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Ю. Лавриненко,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

Детали типа кольцо – это в основном шайбы. Основное предназначение этой детали – увеличивать площадь контакта и опоры другого крепежа (болта, штифта) и способствовать большему уплотнению с прокладкой.

Шайбы можно получить разными способами: резанием- на токарном станке из трубчатой заготовки или фрезерованием, но самый распространённый способ получения шайб это - вырубка шайб холодной листовой штамповкой.

Не смотря на то что одним из достоинств холодной листовой штамповки является экономия расхода металла расход всё-таки ещё слишком велик и для его уменьшения можно использовать инновационный метод получения заготовок из листовой заготовки, который состоит в том, чтобы сначала получить овальные заготовки после чего превратить их в шайбу [1, 2].

Существует два типа получения деталей типа кольцо из овальных заготовок-растяжением и сжатием в статье приведен анализ основных способов изготовления деталей типа кольцо из листовых заготовок. При использовании программного комплекса Deform3D проведен сравнительный анализ возможностей и применимости двух инновационных методов получения различных кольцевых деталей растяжением и сжатием листовой заготовки.

За основу анализа взято кольцо с размерами:

Внешний диаметр: 66 мм

Внутренний диаметр: 82 мм

Толщина: 3мм

Выбор данных размеров обусловлен их присутствием в экспериментах по растяжке овальных заготовок с целью получения деталей типа кольцо [2].

В соответствии с последними экспериментами по получению деталей при помощи сжатия были получены оптимальные размеры для заготовки, при которых получается более точная деталь и при имеющихся данных были проедены два эксперимента(один по сжатию, другой по растяжению) для анализа расхождение окончательных геометрических параметров кольца от требуемых.

Эксперименты были проведены при помощи программного комплекса Deform3D, предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки. **Deform** позволяет проверить, отработать и оптимизировать технологические процессы непосредственно за компьютером, а не в ходе экспериментов на производстве методом проб и ошибок. Благодаря этому существенно сокращаются сроки выпуска продукции, повышается ее качество и снижается себестоимость.

## Литература

1. Новый способ получения кольца методом сжатия / Семенов Е.И., Айрапетян А.С., Демин М.В. // Заготовительные производства в машиностроении 2014 .- № 10 .- С. 15 - 18.
2. Расчет размеров заготовки для получения кольца способом растяжения, Ростовцев Д.В., Дёмин В.А., Семёнов Е.И., Заготовительные производства в машиностроении 2012. - № 8 .- С. 17 - 19.

УДК 621.9-05

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ГРАВИРОВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ELEKSMILL 2040 МЕТОДАМИ ПРОГРАММНОЙ КОРРЕКЦИИ.

Тимофей Алексеевич Осипов

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Б. Самойлов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

Данная работа выполняется в рамках создания технологического программно-аппаратного реновационного комплекса, предназначенного для оценки макрогеометрии поверхностей деталей методами контактного и неконтактного объемного сканирования, восстановления утраченного объема наплавкой с применением полупроводникового лазера, последующей механической обработкой фрезерованием и созданием текстурированного рельефа поверхности с целью улучшения ее трибологических свойств.

Основой данного комплекса является гравировально-фрезерный станок Eleksmill 2040, позволяющий последовательно реализовать указанные технологические операции при размещении реновируемой детали на столе станка. Однако для достижения поставленных целей необходимо модернизировать программно-аппаратное обеспечение указанного оборудования для улучшения характеристик объемной точности с учетом начальных геометрических параметров при сборке конструкции и износа сопрягаемых поверхностей в узлах направляющих и приводов при его эксплуатации.

Рассмотрены как литературные источники по теме исследования, так и проведен актуальный поиск в сети Internet, которые показали актуальность выбранной тематики. Обоснован выбор данного оборудования, как прототипа для создания технологического программно-аппаратного реновационного комплекса.

В рамках данной работы выполнен анализ возникновения погрешностей основных параметров объемной геометрической точности оборудования – плоскостности стола станка, прямолинейности движения портала шпиндельной бабки и точности ее позиционирования. Исследованы физические процессы и причины, вызывающие данные ошибки, проведены измерения указанных характеристик. Показано, что поддерживать работоспособное состояние объекта исследования возможно, как путем проведения стандартных мероприятий по реновации узлов трения в направляющих, так и программной коррекцией с использованием числового программного управления станком.

Проведены эксперименты с применением оригинальных измерительных систем и соответствующего программного обеспечения в автоматизированном режиме, позволившие создать геометрический образ рабочего объема станка с картой погрешностей, которые возможно компенсировать программным способом при обработке детали на станке. Одновременно данная методика позволяет на этапе окончательной сборки и испытании станка учесть возникающие погрешности, что существенно снижает трудоемкость сборочных операций.

Разработаны технологические способы диагностики состояния и оценки остаточного ресурса оборудования, применимые для восстановления работоспособности технологического оборудования в машиностроении.

Результатом работ, рекомендуемых ко внедрению, являются технологические процессы восстановления точности станка методами программной коррекции и традиционными методами восстановления, а также технологические процессы измерений объемной точности станка.

На основе работ, выполненных в данной работе, можно сделать следующие основные выводы:

- Использование метода программной коррекции для повышения точности станков с ЧПУ позволяет значительно снизить материальные и временные затраты, как на этапе их изготовления, так и при восстановлении работоспособности при проведении реновации,

• Использование метода программной коррекции возможно при интегральном износе направляющих на величину не более 0,1 мм, при больших износах требуется применение методов восстановления утраченного объема с последующей механической обработкой.

### Литература

1. Arduino Nano // arduino.ua URL: <http://arduino.ua/ru/hardware/Nano> (дата обращения: 12.10.2017).
2. Configuring Grbl v0.9 // github.com URL: <https://github.com/grbl/grbl/wiki/Configuring-Grbl-v0.9> (дата обращения: 4.10.2017).
3. Gaiyun He, Guangming Sun, Heshuai Zhang, Can Huang, Dawei Zhang Hierarchical error model to estimate motion error of linear motion bearing table // CrossMark. - 2017.
4. Probing and Milling a PCB Using an Arduino Based CNC // instructables.com URL: <http://www.instructables.com/id/Probing-and-Milling-a-PCB-using-an-Arduino-Based-C/> (дата обращения: 4.10.2017).
5. Восстановление деталей наплавкой // rs-nt.ru URL: <https://rs-nt.ru/capilla-gmbh-germany/vosstanovlenie-naplavkoj.php> (дата обращения: 1.11.2017).
6. ГОСТ 22267-76. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров. – М: Изд-во стандартов, 1976. – 156 с.
7. ГОСТ 7599-82. Станки металлообрабатывающие. Общие технические условия (с Изменениями N 1-5) – М: Изд-во стандартов, 1982. – 23 с.
8. ГОСТ 8-82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность. – М: Изд-во стандартов, 1982. – 14 с.
9. ГОСТ ISO 230-2-2016. Нормы и правила испытаний станков. Часть 2. Определение точности и повторяемости позиционирования осей станков с числовым программным управлением. – М: Изд-во стандартов, 2016. – 76 с.
10. ГОСТ Р ИСО 230-1-2010. Испытания станков. Часть 1. Методы измерения геометрических параметров. – М: Изд-во стандартов, 2010. – 90 с.
11. Гусев В. Г. - Конструкции и расчет направляющих металлорежущих станков: учеб. пособие / В. Г. Гусев [и др.] ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 96 с.
12. Дмитриев В. А., Немыткин С. А. Расчет приспособлений на точность. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2009. - 90 с.
13. Драйвер шагового двигателя // wiki.purelogic.ru URL: <http://wiki.purelogic.ru/index.php> (дата обращения: 14.10.2017).
14. Жесткость технологической системы // metalcutting.ru URL: <https://www.metalcutting.ru/content/zhestkost-tehnologicheskoy-sistemy> (дата обращения: 11.11.2017).
15. Каминская В. В., Левина З. М., Решетов Д. Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков (расчет и конструирование). - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. - 363 с.
16. Классификация видов износа // chiefengineer.ru URL: <http://chiefengineer.ru/tehnicheskie-discipliny/mehnika/klassifikaciya-vidov-iznosa/> (дата обращения: 15.10.2017).
17. Контроллер шагового двигателя // kazu.ru URL: <http://kazu.ru/shemes/showpage/0/843/1.html> (дата обращения: 14.10.2017).
18. Механика самодельного станка ЧПУ // rcdesign.ru URL: [http://www.rcdesign.ru/articles/tools/cnc\\_mechanics](http://www.rcdesign.ru/articles/tools/cnc_mechanics) (дата обращения: 30.09.2017).
19. Модуль драйвера шагового двигателя (A4988) // robocraft.ru URL: [http://robocraft.ru/shop/index.php?route=product/product&product\\_id=262](http://robocraft.ru/shop/index.php?route=product/product&product_id=262) (дата обращения: 12.10.2017).

20. Погрешности при изготовлении деталей // technowin.com.ua URL: <http://technowin.com.ua/pogreshnost.htm> (дата обращения: 16.10.2017).
21. Правильный подбор линейной направляющей // pkmoscow.ru URL: <https://pkmoscow.ru/news/401/> (дата обращения: 17.10.2017).
22. Приводные винты // 3deshnik.ru URL: <https://3deshnik.ru/wiki/index.php/> (дата обращения: 26.09.2017).
23. *Проников А. С.* Надежность машин. - М: Машиностроение, 1978. - 592 с.
24. *Решетов Д.Н., Портман В.Т.* Точность металлорежущих станков. - М: Машиностроение, 1986. - 336 с.
25. Системы ЧПУ // elektronik-chel.ru URL: <http://elektronik-chel.ru/literature/sistemyi-chpu.html> (дата обращения: 12.10.2017).
26. Сфера применения фрезерных станков с ЧПУ // grav-frez.com URL: <http://grav-frez.com/news/sfera-primeneniya-freznykh-stankov-s-chpu/> (дата обращения: 23.09.2017).
27. Универсальный гравировально-фрезерный станок с ЧПУ // inwest.com URL: [http://www.inwest.com.ua/rm\\_frdig\\_08.php](http://www.inwest.com.ua/rm_frdig_08.php) (дата обращения: 17.09.2017).
28. Хромированные цилиндрические направляющие // shafts.ru URL: <http://www.shafts.ru/WV.shtml> (дата обращения: 9.10.2017).
29. Шаговые двигатели // electroprivod.ru URL: [http://electroprivod.ru/st\\_motor.htm](http://electroprivod.ru/st_motor.htm) (дата обращения: 25.09.2017).

#### **УДК 53.084.823**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ БАЛАНСИРОВ БМП ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ**

Владислав Алексеевич Павлов

*Магистр 1 курса*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Дмитрий Борисович Слинко,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

В настоящее время гусеничная техника находит широкое применения во многих отраслях промышленности, включая строительную, добывающую, военную, сельское хозяйство. В процессе эксплуатации детали гусеничных машин изнашиваются до предельного состояния, являясь при этом металлоёмкими и обладая высокой стоимостью. Восстановление подобных деталей существенно снижает затраты предприятий, что позволяет считать данную тематику актуальной.

Данная работа посвящена исследованию свойств наплавленных покрытий при восстановлении балансиров БМП (рисунок 1) плазменно-порошковой наплавкой.

Балансир является элементом подвески ходовой части БМП и подразделяется на три составных части: ось балансира, рычаг и ось катка. Деталь работает в условиях абразивного и коррозионного износов, в результате чего ось балансира изнашивается не более 0,4 мм, а ось катка – не более 0,2 мм.

В качестве оптимального метода восстановления балансиров с учётом малых износов и условий эксплуатации была выбрана плазменно-порошковая наплавка с подачей порошка снаружи плазмотрона [1].

Эксперимент по наплавке проводился в две стадии, в ходе которых осуществлялось нанесение порошков ФМИ-5, НХЧ-31 и ПГ-СР2 в один и в три слоя с использованием ранее отработанных режимов. Для порошков ФМИ-5 и ПГ-СР2 было зафиксировано удовлетворительное нанесение наплавочного материала в отличие от порошка НХЧ-31, характеризующегося неравномерным нанесением наплавочных валиков.

Микроструктура наплавленного слоя образцов, для которых использовались

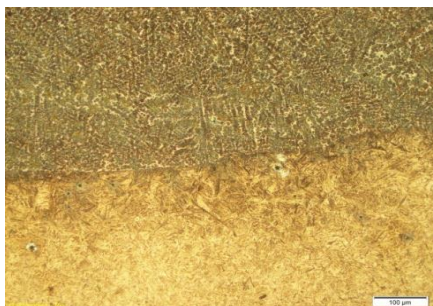


Рис.1. Микроструктура наплавленного слоя порошком ФМИ-5

порошки ФМИ-5 (рисунок 1) и ПГ-СР2 представляет собой перлит и сетку цементита. При использовании порошка НХЧ-31 в наплавленном слое была получена структура никеля с интерметаллидными включениями (рисунок 2).



Рис.2. Микроструктура наплавленного слоя порошком НХЧ-31

Анализ результатов исследований микротвёрдости позволил выявить незначительное увеличение данного показателя для образца, в ходе наплавки которого использовался порошок НХЧ-31. Напротив, при использовании порошка ФМИ-5 произошло нанесение наплавленного слоя, микротвёрдость которого значительно превышает требования ремонтного чертежа детали.

Наплавка порошками с нанесением трёх слоёв производилась с целью определения соответствия характеристик поставок использованных порошков с характеристиками, заявленными производителем. Кроме того, сравнение результатов аналогичных исследований для наплавки в один и в три слоя позволяет установить степень влияния основного металла на наносимое покрытие.

На образце с наплавкой порошка НХЧ-31 тремя слоями была выявлена более выраженная структура никеля в наплавленном слое, а также более высокая микротвёрдость. При этом было определено существенное изменение химического состава наплавленного материала (увеличено содержание никеля и значительно уменьшено содержание железа).

При использовании порошка ПГ-СР2 микроструктура образцов, выполненных с различным числом слоёв наплавки, значительно отличается. Микротвёрдость образца с наплавкой одним слоем оказалась выше, что объясняется более высоким содержанием железа в наплавленном слое.

Исследования показали, что при использовании порошка ФМИ-5 микроструктура образцов, выполненных с различным числом слоёв наплавки, не отличается. Микротвёрдость образца с наплавкой одним слоем незначительно ниже микротвёрдости образца с тремя наплавленными слоями. При этом анализ химического состава наплавленных покрытий показал схожие результаты.

### **Литература**

1. Способ плазменной наплавки: пат. 2479392 Рос. Федерация: МПК В23К 9/04 / *Н.М.Ожегов, В.П. Пазына, Д.А. Капошко, А.В. Бармашов*; патентообладатель Н.М. Ожегов. – № 2011114188/02; заявл. 11.04.2011; опубл. 20.04.2013, бюл. №11. – 9 с.

### **УДК 621.98**

## **МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ СЖАТИЯ**

Артем Олегович Поляков

*Аспирант 1 курса,  
кафедра «Технологии обработки материалов»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Ю. Лавриненко,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

Рассмотренные в работе детали типа «кольцо» применяются в различных отраслях промышленности. Наиболее часто такие детали используются в автомобилестроении. Стопорные кольца применяются в осевых механизмах автомобилей, прицепов и полуприцепов для удержания ступичного подшипника.

Детали типа «кольцо» изготавливают с помощью методов литья, обработки резанием, штамповкой, а также с помощью комбинированных технологий.

Проведенный анализ показал наличие преимуществ и недостатков рассмотренных методов изготовления деталей типа «кольцо».

Основным недостатком является повышенный коэффициент использования материала (КИМ). Для уменьшения КИМ в работе предложен метод Семенова Е. И. – вырубка с последующим обжатием. Данный метод позволяет существенно сэкономить материал при изготовлении деталей типа «кольцо».

Существовавшие ранее теоретические и экспериментальные исследования процесса изготовления детали типа «кольцо» были недостаточными. Для полного исследования параметров процесса изготовления деталей типа «кольцо» была разработана методика компьютерного моделирования. Основной целью методики компьютерного моделирования является определение оптимальных параметров процессов штамповки для обеспечения высокой геометрической точности готовых изделий.

### **Литература**

1. *Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю.* Технология холодной штамповки: Учебн. для вузов. - М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.

2. Денежный П.М., Стискин Г.М., Тхор И.Е. Токарное дело// Высшая школа, М., 1972. 304 с.
3. Виноградов Л.В. Применение штамповки обкатыванием для получения деталей с торцевым рельефом из пластичных материалов. Металлообработка. 2005. №1. С. 27-30.
4. Ростовцев Д.В. Моделирование получения детали типа кольцо способом растяжения. Известия Московского государственного индустриального университета. 2012. №2(26). С. 23-26.
5. Семёнов Е.И., Айрапетян А.С., Дёмин М.В. Новый способ получения кольца методом сжатия. Заготовительные производства в машиностроении. 2014. № 10. С. 15-18.

УДК 621.77.01, 621.777.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ТРУБНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ВЫСТУПОМ В ПОЛОСТИ

Егор Олегович Решиков

Магистр 1 года,

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. Л. Воронцов,

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Анализ современной справочной и специализированной технической литературы показывает, что трубные изделия с цилиндрическим выступом в полости широко используются в промышленности. Они применяются, например, для производства корпусов выключателей подачи топлива дизеля (рис. 1), корпусов механических клапанов для автоматических установок распыления смазочно-охлаждающих жидкостей, дроссельных крышек распределительных клапанов гидросистем высокого давления.

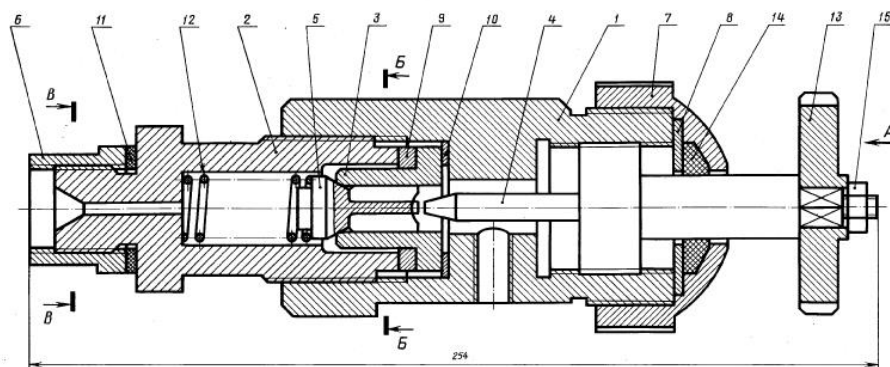


Рис. 1. Чертеж выключателя подачи топлива дизеля, где цифрой 1 обозначен корпус

Сделанный нами анализ справочной литературы показал, что подобные изделия в настоящее время в подавляющем большинстве случаев получают резанием из сплошных заготовок (трубные заготовки по необходимым соотношениям наружного и внутреннего диаметров подходят для подобных изделий очень редко). Это, соответственно, предопределяет в производстве таких изделий присущие резанию недостатки: низкий коэффициент использования металла, низкую производительность, низкую стойкость



инструмента, малое упрочнение, перерезание волокон металла, совершенно недопустимое, например, в топливных системах ракетной техники.

В настоящее время остро стоит задача снижения энергетических затрат и расхода металла, а также повышения производительности и качества при производстве подобных изделий, которая, на наш взгляд, может быть успешно решена путём применения радиального выдавливания трубной заготовки (рис. 2).

В настоящей работе было проведено частичное определение кинематического и напряжённого состояний выдавливаемой цилиндрической заготовки в области, соответствующей образующемуся внутреннему выступу по методу пластического течения А. Л. Воронцова.

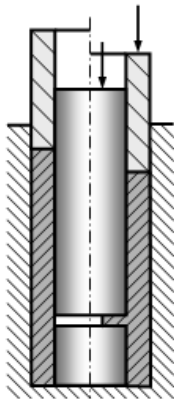


Рис. 2. Предлагаемая технология радиального выдавливания трубных изделий с внутренним выступом

Полная система уравнений теории пластического течения упрочняющихся тел для осесимметричной задачи будет включать 14 уравнений, содержащих 14 неизвестных.

Решая данную систему уравнений, можно найти осевое напряжение (1), которое необходимо для расчёта величины распорной силы, действующей на оправки при затекании металла в зазор между ними.

$$\sigma_z = -\beta \left[ 1 + \left( \mu_1 \frac{r_0}{h} + 1 \right) \ln \frac{\rho}{r_0} \right] \quad (1)$$

В дальнейшей работе нами будет так же исследовано напряжённое и кинематическое состояние заготовки в области, примыкающей к матрице, что позволит создать научно обоснованную методику расчётов и проектирования технологических процессов радиального выдавливания внутреннего выступа в трубных заготовках.

## Литература

1. Холодная объёмная штамповка. Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого. М.: Машиностроение. 1973. 496 с.
2. Воронцов А. Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов. Том 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. 441 с.
3. Воронцов А. Л. Некоторые проблемы механики деформируемого твёрдого тела и её технологических приложений. 7. Осесимметричная задача теории пластичности. Напряжённое и кинематическое состояния при осадке цилиндрической заготовки с трением на торцах. Метод баланса работ. Часть 1 // Производство проката. 2010. № 9. С. 2-13.
4. Воронцов А. Л. Некоторые проблемы механики деформируемого твёрдого тела и её технологических приложений. 9. Степень деформации и накопленная деформация. Деформированное состояние заготовки и учёт упрочнения при осадке и вдавливании в полупространство. Часть 1 // Производство проката. 2011. № 2. С. 41-48.
5. Воронцов А. Л. Некоторые проблемы механики деформируемого твёрдого тела и её технологических приложений. 6. Особенности приложения теории пластичности к

- анализу операций обработки металлов давлением // Производство проката. 2010. № 8. С. 2-12.
6. *Воронцов А. Л.* Некоторые проблемы механики деформируемого твёрдого тела и её технологических приложений. 7. Осесимметричная задача теории пластичности. Напряжённое и кинематическое состояния при осадке цилиндрической заготовки с трением на торцах. Метод баланса работ. Часть 2 // Производство проката. 2010. № 10. С. 2-14.

## УДК 62-791.2

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕНОВИРУЕМЫХ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДАМИ 3D - СКАНИРОВАНИЯ

Артём Романович Смирнов

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: В. Б. Самойлов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

Данная работа выполняется в рамках создания технологического программно-аппаратного реновационного комплекса (ТПАРК<sup>®</sup>), предназначенного для создания сквозной технологической цепочки реновации путем выполнения оценки макрогеометрии поверхностей деталей методами контактного и неконтактного объемного сканирования, восстановления утраченного объема наплавкой с применением полупроводникового лазера, последующей механической обработкой фрезерованием и созданием текстурированного рельефа поверхности с целью улучшения ее трибологических свойств.

В рамках данной работы выполнен анализ программных средств обеспечения сквозной технологической цепочки – сканирования, постобработки, конвергентного моделирования. Показано, что реализация этой задачи возможна с применением программного обеспечения, позволяющего работать с трехмерными моделями: Horus, MeshLab, CloudCompare, GOM Inspect, AUTODESK<sup>®</sup> FUSION 360<sup>™</sup>, Solid Edge ST10, которое и было освоено автором.

В качестве измерительной базы для построения технологического процесса 3D сканирования был выбран сканер BQ Ciclor, позволяющий реализовывать технологии объемного сканирования деталей с заданными габаритами и необходимой точностью. Автором самостоятельно была проведена сборка, монтаж и наладка программно-аппаратных частей устройства, отработана технология калибровки.

В качестве объекта исследования была выбрана типовая деталь – вал сошки рулевого управления автомобиля ЗИЛ 131. Анализ условий эксплуатации детали обнаружил поверхности, подвергающиеся интенсивному износу. К этим поверхностям предъявляются требования, которые необходимы для их реновации, а именно: точное количественное описание формы изношенной поверхности, формы подготовленной поверхности для восстановления утраченного объема, формы поверхности после восстановления утраченного объема и формы поверхности после окончательной механической обработки. Дополнительно может возникнуть задача описания макрогеометрии и структуры поверхностного слоя нанесенного материала.

Проведены эксперименты с целью отработки последовательности технологических операций, направленных на оптимизацию процесса оценки состояния реновируемых

изношенных поверхностей с последующей математической обработкой результатов измерений.

Разработаны технологические процессы, реализующие указанную последовательность оценки состояния исследуемых поверхностей, попутно изучен вопрос применения специальных покрытий для нанесения на деталь с целью улучшения качества 3D сканирования и предложены рекомендации по их выбору.

На основе выполненных работ можно сделать следующие основные выводы:

- Использование программно-аппаратных средств 3D сканирования, примененных автором для решения поставленных задач на примере типовой детали, позволяет значительно снизить материальные и временные затраты диагностики состояния изношенных поверхностей.
- Использование программно-аппаратных средств 3D сканирования, примененных автором для решения поставленных задач на примере типовой детали, позволяет дать точное количественное описание формы изношенной поверхности, формы подготовленной поверхности для восстановления утраченного объема, формы поверхности после восстановления утраченного объема и формы поверхности после окончательной механической обработки.

## Литература

1. 3D - сканер BQ Ciclop // RWPBB URL: <http://rwpbb.ru/3dprint/piclop.html#cc> (дата обращения: 16.10.2017).
2. 3D - сканеры - принцип работы и применение. // FotoKomok URL: <http://www.fotokomok.ru/3d-skanery-princip-raboty-i-primenenie/> (дата обращения: 23.09.2017).
3. 3D сканер Циклоп. Своими руками // 3deshnik URL: <https://3deshnik.ru/blogs/akdzg/3d-skaner-tsiklop-svoimi-rukami> (дата обращения: 25.11.2017).
4. A4988 Stepper Motor Driver Carrier // Pololu URL: <https://www.pololu.com/product/1182> (дата обращения: 03.09.2017).
5. Logitech Web Cam C270 // Logitech URL: <https://www.logitech.com/ru-ru/product/hd-webcam-c270> (дата обращения: 04.09.2017).
6. ZUM SCAN released under CC-BY-SA license // DIWO URL: <http://diwo.bq.com/en/zum-scan-released-2/> (дата обращения: 29.10.2017).
7. А. А. Грибовский ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. СПб.: УНИВЕРСИТЕТ ИТМО , 2015.
8. Измерение износа и деформации // URL: [http://dieselloc.ru/books/teplovoz/diesel\\_11.html](http://dieselloc.ru/books/teplovoz/diesel_11.html) (дата обращения: 17.10.2017).
9. Как выбрать подходящую технологию 3D- сканирования? // 3D Today URL: <http://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/3d-scanning-technology/> (дата обращения: 27.09.2017).
10. Клонирование вновь легально: 3D-сканер Ciclop // 3D Today URL: <http://3dtoday.ru/blogs/ceca53837b/cloning-again-legally-3d-scanner-ciclop/> (дата обращения: 12.11.2017).
11. Методы определения износов деталей // Строй - Техника URL: <http://stroy-technics.ru/article/metody-opredeleniya-iznosov-detalei> (дата обращения: 17.10.2017).
12. Механизм рулевого управления ЗИЛ 131 // АвтоАльянс URL: <http://www.autoopt.ru/auto/catalog/2/zil/zil-131/83/> (дата обращения: 16.09.2017).
13. Модуль лазерного диода 5мвт 650нм, 3-5 вольт, красная линия // AVROBOT.RU URL: [http://avrobot.ru/product\\_info.php?products\\_id=3842](http://avrobot.ru/product_info.php?products_id=3842) (дата обращения: 03.09.2017).

14. Отрасли применения 3D-сканеров // Globaltek.3D URL: <http://3d.globatek.ru/3d-scanners/use/> (дата обращения: 27.09.2017).
15. Профессиональные ручные 3d-сканеры // Geektimes URL: <https://geektimes.ru/post/240136/> (дата обращения: 20.09.2017).
16. Руководство по оптимальному сканированию // hokus 3d-сканирование для всех url: [www.bq.com](http://www.bq.com) (дата обращения: 5.12.2017).
17. Руководство по последующей обработке облака точек // hokus 3d-сканирование для всех url: [www.bq.com](http://www.bq.com) (дата обращения: 5.12.2017).
18. Руководство пользователя на русском языке // hokus 3d-сканирование для всех url: [www.bq.com](http://www.bq.com) (дата обращения: 5.12.2017).
19. Создание 3D сканера из вебкамеры и лазера // Хабрахабр URL: <https://habrahabr.ru/post/247423/> (дата обращения: 10.10.2017).
20. Сошка рулевого управления // URL: <http://vsepoedem.com/story/soshka-rulevogo-upravleniya> (дата обращения: 19.11.2017).
21. Точная промышленная трехмерная метрология // GOM URL: <http://www.gom-inspect.com/ru/overview.php> (дата обращения: 10.11.2017).

**УДК 621.74: 669.3**

## **НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ СПЛАВЫ МЕДИ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Максим Геннадиевич Степанов

*Студент 3-го курса, специалитет*

*кафедра «Технологии машиностроения»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: К.Г. Семенов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов» К.А. Батышев,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

Низколегированные литейные сплавы меди, которые используются в современной технике, подразделяются на две группы /1-4/. К первой группе относятся дисперсионно-твердеющие, то есть те, у которых повышение жаропрочных свойств приобретает в результате термомеханической обработки. Другая группа сплавов базируется на сплавах, у которых жаропрочные свойства определяются прочностью межатомных связей между основой сплава и легирующими компонентами. У этих сплавов более высокие технологические и литейные свойства, но пониженные характеристики электро- и теплопроводности. Низколегированная медь является одним из первых материалов, нашедших применение в современной криогенной технике. Это обусловлено тем, что медь не имеет порога хладноломкости, а нижний температурный предел ее использования близок к абсолютному нулю.

Одним из первых низколегированных сплавов на основе меди можно считать «телеграфную бронзу» — медь легированную оловом (0,3-0,55) для проводов с целью повышения их прочности. С тех пор предложено много составов для упрочнения медной катанки (Cr, Zr, Mg и др.), однако до настоящего времени остается наиболее технологичной добавкой для массового производства контактных проводов

современными совмещенными методами литья и прокатки. Другие сплавы, как правило, производят из слитковых заготовок с последующей пластической обработкой.

Стандартные низколегированные сплавы меди в основном относятся к классу деформируемых сплавов (листы, ленты, полосы, прутки, трубки, проволока и др.).

Значительно меньше объем производства изделий из литейных сплавов для производства фасонных отливок для электротехнических отраслей (контакты, щеткодержатели, фасонные электроды, теплообменники, фурмы и др.).

В стандарты США включены 4 сплава (C19600-C19200) с содержанием железа от 0,8 до 2,6% и выпускается различная продукция в виде листов, полос, лент, прутков для различных отраслей энергомашиностроения. Железистые бронзы в зависимости от термообработки (М, П, Т) обеспечивают значения  $\sigma_b$  от 275 до 550 МПа и  $\delta_5 = 18\%$  (М).

Группа сплавов медь-железо характеризуется как материалы с высокими показателями по электропроводности, а железистые бронзы (дисперсионно-твердеющие сплавы), как конкуренты хромовых бронз с высокорентабельными показателями выпускаемой продукции, так как стоимость железа и серы значительно ниже стоимости других традиционных легирующих в низколегированных сплавах меди.

Перспективным, как уже упоминалось выше, является железо, как отдельно, так и в сочетании с фосфором и др. легирующими. Работы с этими сплавами проводились у нас в 70-х – 80-х годах /8, 9/, однако промышленное производство не освоено и естественно пока нет постоянных, а также потенциальных потребителей. Между тем дисперсионно-твердеющие сплавы меди с железом имеют также ряд технологических преимуществ по сравнению с хромовыми и хромциркониевыми бронзами, так для их изготовления возможно использование меди промышленной чистоты, т.е. допускается более высокое исходное содержание кислорода.

В качестве легирующего элемента фосфор входит в состав ряда дисперсионно-твердеющих сплавов, в частности, в железистые бронзы при различных соотношениях Fe/P. В частности, в дисперсионно-твердеющих сплавах системы Cu-Fe рекомендуется /5/ соотношение Fe/P= 3,6. Считают, что такое соотношение обеспечивает наиболее высокое сочетание прочности, теплопроводности и жаропрочности низколегированных сплавов.

Хотя это соотношение в других железистых бронзах /1/ варьируется в более широких пределах от 3,6-5,7 до 10-15 и более, что видимо связано с необходимостью обеспечения более разнообразных свойств, которые требуются от различных сплавов применяемых в современной технике.

Что касается сплавов системы Cu-Fe у ряда отечественных специалистов сложилось определенное мнение, что смешивать медь с железом нерационально, так как медь загрязняется железом и такой металл трудно использовать в дальнейшем из-за того, что основные свойства меди – электро- и теплопроводность снижаются.

Поэтому предубеждения о невозможности сосуществования Fe и Cu в одном сплаве преувеличены. Особенно если это касается класса низколегированных сплавов на основе меди. Разработка сплавов меди с железом, сочетающих высокие тепло- и электропроводность с высокими триботехническими характеристиками – одно из перспективных направлений современного машиностроения.

## Литература

1. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005, с.408
2. Семенов К.Г., Панкратов С.Н., Колосков С.В. Разработка современных низколегированных медных сплавов для машиностроения // *Металлургия машиностроения*. 2015, № 4, с.19-21

3. Николаев А.К., Новиков А.И., Розенберг В.М. Хромовые бронзы. М. Металлургия, 1983. - 176 с.
4. Николаев А.К., Розенберг В.М. Сплавы для электродов контактной сварки. - М.: Металлургия, 1978. - 96 с.
5. Чурсин В.М. Перспективы синтеза низколегированных сплавов на основе меди/ Цветная металлургия. 2004, № 5. С.71–77.

УДК 621.77.01, 621.777.4

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СТАКАНОВ С КОНИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ЧАСТЬЮ

Дарья Александровна Тялина

Магистр 1 года,  
кафедра «Технологии обработки материалов»  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. Л. Воронцов,  
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технологии обработки материалов»

Анализ современной справочной и специализированной технической литературы показывает, что полые изделия типа стаканов с конической донной частью очень широко используются в машиностроении, автомобилестроении, авиастроении и оборонной промышленности. Они применяются, например, для производства корпусов осколочно-фугасных и других снарядов (рис. 1), основной формообразующей операцией для получения которых является обратное выдавливание стакана.

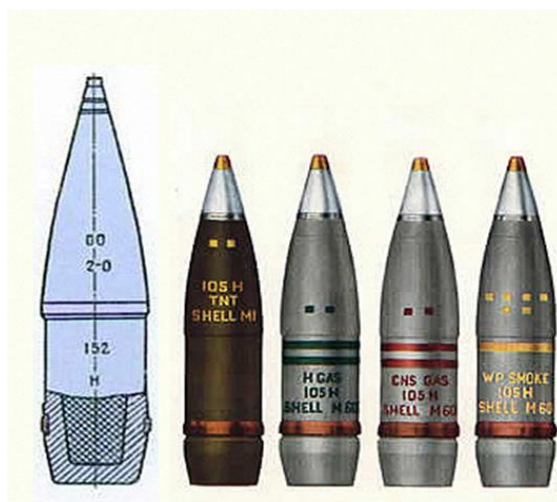


Рис. 1. Примеры известных боевых снарядов

Сделанный нами анализ справочной литературы показал, что традиционно подобные изделия в настоящее время получают путём последовательного применения к исходной цилиндрической заготовке калибровки с формовкой, во время которых окончательно образуют наружный конический участок донной части изделия и последующего обратного выдавливания стакана с внутренней полостью требуемой геометрии [1, с. 179, рис. 29-в; 2, с. 142, рис. 24-б]. Это, соответственно, предопределяет в

производстве таких изделий присущие данному способу недостатки: необходимость наличия на производстве прессов большой мощности, а также высокие удельные деформирующие силы, действующие на пуансон, и давления, действующие на матрицу, что иногда приводит к недостаточной прочности и стойкости штампового инструмента, изготовление значительного количества дополнительного штампового инструмента, увеличение общих энергетических и финансовых затрат.

В настоящее время остро стоит задача снижения энергетических затрат и расхода металла, а также повышения производительности и качества при производстве подобных изделий, которая, на наш взгляд, может быть успешно решена путём применения комбинированного выдавливания (рис. 2).

Проведённое изучение состояния вопроса показывает, что ни экспериментальное, ни теоретическое изучение комбинированного выдавливания стаканов с коническим дном в известных работах ранее не проводилось [1–7]. Поэтому углублённое исследование данного процесса с целью создания научно обоснованной методики его успешного проектирования является актуальным.

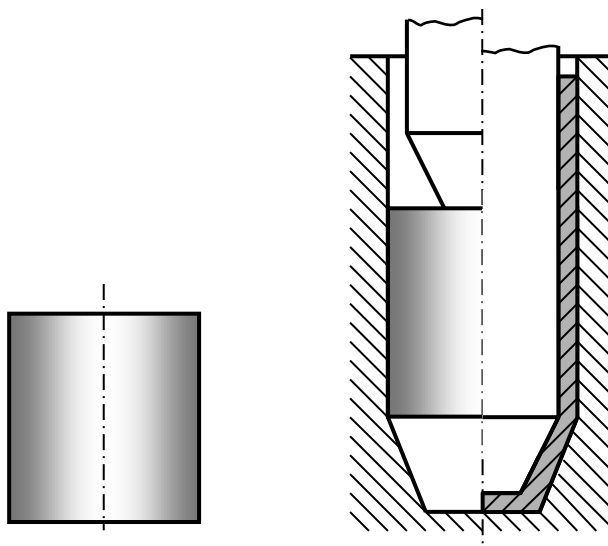


Рис. 2. Предлагаемая технология комбинированного выдавливания стаканов с конической донной частью

Полученные предварительные результаты позволили сформулировать цель и задачи исследовательской работы.

#### **Цель и задачи работы.**

Целью работы является разработка методики расчёта технологических параметров процесса комбинированного выдавливания стаканов с коническим дном, обеспечивающего получение заданных изделий при минимальном количестве переходов и сниженной силе деформирования.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. На основе полной системы классических уравнений теории пластического течения определить кинематическое, напряжённое и деформированное состояния заготовки в процессе комбинированного выдавливания стаканов с коническим дном.
2. Учесть влияние на напряжённое состояние и силу деформирования следующих факторов:
  - а) геометрических параметров получаемого изделия;

- б) напряжения текучести и упрочнения материала заготовки;
  - в) различных коэффициентов трения на поверхностях контакта заготовки и инструмента.
3. Провести экспериментальную проверку полученных теоретических результатов.

### Литература

1. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого. М.: Машиностроение. 1973. 496 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник / Под ред. Е. И. Семенова. Т.3. Холодная объёмная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. М.: Машиностроение. 1987. 384 с.
3. Воронцов А. Л. Теория штамповки выдавливанием. М.: Машиностроение. 2004. 721 с.
4. Воронцов А. Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов. Том 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. 441 с.
5. Воронцов А. Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов. Том 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. 396 с.
6. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. М.: Машиностроение. 1983. 200 с.
7. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение. 1977. 423 с.

**УДК: 669-154.9**

## ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ИЗ СЪЕМОВ С ПЕЧЕЙ

Виктория Алексеевна Хованская

*Студент 4 курса, бакалавриат*

*Кафедра «Литейные технологии»*

*Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.В. Колосков,*

*Кандидат наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

На литейных предприятиях после плавки алюминия в печах, остаются съемы с этих самых печей. Съемы содержат до 90% оксидов алюминия  $Al_2O_3$ , флюсовые включения и всего 10 – 20% самого алюминиевого сплава, например, мелкий скрап, корольки, всплески и т.д. Такой сплав, загрязненный неметаллическими включениями и газами, нельзя использовать повторно для изготовления отливок. Его необходимо отчищать, таким образом, появляется возможность использовать вторичный сплав, как основу для будущих отливок.

Существует множество методов переработки таких алюминиевых сплавов. Например, отстаивание, центрифугирование, фильтрация через базальтовую крошку, возгонка солей в вакууме, сухой метод и т. д. Подробнее остановимся на методе переплава. Смысл такого восстановления первичных свойств заключается в разделении двух несмешивающихся фаз из-за разности плотностей. Отсюда максимальный выход алюминиевого сплава получается при сочетании наименьшей смачиваемости оксида алюминия сплавом и наибольшей смачиваемости его флюсом, в таком случае разрушение пленки оксида может быть достигнуто вводом флюсов солей. Для этого обычно



используют соли хлора и фтора, например  $KCl$ ,  $Na_3AlF_6$ . Образующейся пузырьки хлорида алюминия рафинируют сплав, адсорбируют газы и неметаллические включения.

Применение алюминиевого сплава для изготовления отливок, выплавленного с использованием в шихте съёмов с печей, невозможно без предварительной подготовки из-за высокой насыщенности газами и неметаллическими включениями. При восстановлении сплава из съёмов с печей методом переплава происходит активное взаимодействие исходных съёмов с газами. Это больше всего проявляется на стадии кристаллизации отливки, когда начинают зарождаться не только кристаллы, но и пузырьки газов в сплаве. Это приводит, в первую очередь, к газовой пористости в получаемой отливке. Чтобы решить эту проблему, сплавы, выплавленные из низкосортной шихты, перед выпуском из печи подвергают рафинированию. На металлургических предприятиях используются различные методы рафинирования, например, использование активных и инертных фильтров, обработка гексахлорэтаном, аргоном, титановой стружкой, хлористым марганцем, флюсами на основе фтористых и хлористых солей: криолит, хлористый калий и хлористый натрий, выдержка расплава в вакууме и обработка ультразвуком. Большинство этих методов малоприменимы в условиях небольших литейных предприятий, а тем более в при плавке металла в лабораторных печах из-за дороговизны. Чаще всего рафинирование осуществляется легкоплавкими солями, например, обычной поваренной солью. При этом расход солевых флюсов для восстановления 50...60% алюминия из съёмов с печей составляет не менее 2...3% от металлозавалки. При этом наблюдается интенсивное дымообразование, что существенно ухудшает экологическую ситуацию в рабочей зоне печей и цеха в целом. Поэтому приняли решение опробовать покровный рафинирующий флюс, содержащий теплоизоляционные материалы, предохраняющие легкоплавкие соли от взаимодействия с атмосферой.

Предварительное опробование комплексного флюса привело к восстановлению до 70...80% алюминия, при введении 1% флюса от металлозавалки.

### Литература

1. Алюминиевые сплавы свойства, обработка, применение. Справочник. Перевод с немецкого под ред. *М. Е. Дрица и Л.Х. Райтберга* – М.: Металлургия, 1979.
2. *Альтман М.Б.* Металлургия литейных алюминиевых сплавов – М.: Металлургия, 1972.
3. *Винокуров В.Д.* Восстановление алюминиевых сплавов из шлака. Методические указания КНИР студентов – М.: МГТУ, 1999.

## СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**QUANTORFORM**

*Титульный спонсор конференции с 2007 г.*

**Компания ООО «КванторФорм»** занимается разработкой программного обеспечения для моделирования процессов обработки металлов давлением. Треть специалистов компании имеют научные степени кандидатов и докторов наук. Программное обеспечение QForm распространяется по всему миру на восьми языках в более чем 30 странах.

<http://www.qform3d.ru/>



**Группа компаний «Остек»** – крупнейшее в России и странах СНГ инжиниринговое предприятие, предоставляющее комплексные инженерно-консультационные услуги для повышения эффективности работы предприятий и конкурентоспособности их продукции, такие как электронные компоненты и ГИС, электроника оборонного назначения, авиационная и космическая электроника, электротехника и энергетика, автомобильная и потребительская электроника, компьютеры и периферийные устройства, промышленное оборудование и электроника, медицинская техника и системы безопасности, телекоммуникации, научные исследования и образование.

<http://www.ostec-group.ru/>



**ESI-Group** – крупнейший производитель программного обеспечения и инжиниринговых решений.

<https://www.esi-group.com/>

**Mitutoyo**

**ООО «Митутойо РУС»** – ведущий мировой производитель полного спектра точного измерительного оборудования. Осуществляет комплексное обеспечение поставки и использования средств измерений Митутойо на российском рынке. Компания основана в 1934 г. Компания работает более чем в 100 странах мира.

<http://mitutoyo.ru>



**Компания SKF** – ведущий мировой производитель и поставщик продукции и услуг в следующих областях: подшипники и подшипниковые узлы, уплотнения, мехатроника, сервис и системы смазывания. Компания основана в 1907 г. и является одной из ведущих международных компаний.

<http://www.skf.com>



**Корпорация «ПУМОРИ – Инжиниринг Инвест»** основана в 1990 г. Сегодня корпорация является одним из крупнейших машиностроительных предприятий России и объединяет более десятка компаний, работающих в разных регионах.

<http://www.pumori.ru/>



**Концерн SCHULER** основан в 1839 г. Является технологическим лидером на мировом рынке в области обработки металла давлением и объемной штамповки, поставляет оборудование, оснастку, технологическое ноу-хау и услуги предприятиям металлообрабатывающей промышленности.

<https://www.schulergroup.com/>



**ISIC** – уникальное студенческое международное удостоверение личности, которое признают около 120 мировых государств. Одновременно это удостоверение служит дисконтной картой, т. е. предоставляет доступ к национальным и международным механизмам скидок и льгот общим числом более 10 000.

<http://isic.ru>