Министерство по образованию и науке РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»

Студенческое научно-техническое общество имени Н.Е.Жуковского

Научно-учебный комплекс
«Машиностроительные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Кафедра «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана

ООО «КванторФорм»

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Всероссийской научно-технической конференции студентов

«Студенческая научная весна 2017:

Машиностроительные технологии»

4 – 7 апреля 2017 г.

г. Москва, 2017 г.

УДК 62

ББК 34

Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 4 – 7 апреля, 2017, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана / отв. ред. Ю.А.Гладков. – Москва: ООО «КванторФорм», 2017. – 1 CD-ROM.

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.

Всероссийская конференция проводится с 2007 года и является традиционным ежегодным научно-техническим мероприятием для студентов факультета «Машиностроительные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также для студентов других Российских технических ВУЗов. Цель конференции – предоставить возможность рассказать о самостоятельно выполненных научно-исследовательских проектах, обменяться идеями и опытом, соотнести уровень собственных разработок с работами других студентов.

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.
Опубликовано 06.04.2017

Формат PDF Объем
12МБ Тираж 600 экз.

Содержание

Состав оргкомитета …….. 5
Порядок проведения конференции ……. 7
Секция 1. Металлорежущие станки …… 9
Секция 2. Инструментальная техника и технология ……. 34
Секция 3. Технология машиностроения ……..... 68
Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость ……... 88
Секция 5. Литейные технологии ……. 116
Секция 6. Технологии обработки давлением ……. 149
Секция 7. Технологии сварки и диагностики ……. 168
Секция 8. Материаловедение в машиностроении ……. 190
Секция 9. Промышленный дизайн ……... 270
Секция 10. Оборудование и технологии прокатки …… 290
Секция 11. Электронные технологии в машиностроении …… 331
Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении …….. 395
Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении …… 424

Всероссийская научно-техническая конференция студентов
«Студенческая научная весна 2017: Машиностроительные технологии»
4-8 апреля 2017 года

Организаторы:

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

Ассоциация технических университетов
Исполнит.директор **Балтян Валерий Кононович**

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

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

Кафедра «Технологии обработки давлением» (МТ-6)
Заведующий каф. МТ-6 **Евсюков Сергей Александрович**

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

Председатель конференции
Руководитель **Колесников Александр Григорьевич**

Заместитель председателя конференции
Декан **Игнатов АлексейВладимирович**

Контактная информация конференции:

Сайт: www.studvesna.ru
E-mail: stud-vesna@yandex.ru

Состав оргкомитета
Всероссийской научно-технической конференции студентов
«Студенческая научная весна 2017: 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.
Ермолаев Михаил Михайлович	к.т.н., доц. 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., ассистент МТ-3

Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость

Пронякин Владимир Ильич	зав. каф. МТ-4, д.т.н., проф.
Комшин Александр Сергеевич	к.т.н., доц. МТ-4

Секция 5. Литейные технологии

Коротченко Андрей Юрьевич	зав. каф. МТ-5, д.т.н., проф.
Савохина Ольга Михайловна	старший преподователь 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	доц. каф. МТ-8, к.т.н.

Секция 9. Промышленный дизайн

Терехова Наталия 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.
Козлов Анатолий Владимирович	доц. каф. МТ-13, к.т.н.

Организационный комитет

Комшин Александр Сергеевич	Председатель организационного комитета, к.т.н., доцент, каф. МТ-4
Гладков Юрий Анатольевич	Сопредседатель организационного комитета, к.т.н., доцент каф. МТ-6, руководитель отдела ООО «КванторФорм»
Резвых Руслан Викторович	Специалист ИТ, разработка сайта, выпускник каф.МТ-6, инженер ООО «КванторФорм»
Панова Ирина Андреевна	Руководитель группы волонтеров, организация сбора материалов конференции и переписки с участниками, выпускница каф. МТ-6, ранее председатель СНТО им. Н.Е.Жуковского факультета МТ
Аникина Валерия Сергеевна	Заместитель руководителя группы волонтеров, сбор материалов конференции и переписка с участниками, студентка группы МТ6-102
Тумакова Екатерина Владимировна	Организационная работа и сбор материалов конференции, аспирант, ассистент каф. МТ-4
Сырицкий Антони Борисович	Организационная работа, обеспечение работы с информационными данными, к.т.н., ассистент каф. МТ-4
Метелкина Екатерина Дмитриевна	Работа с ответственными по секциям, сбор материалов конференции, аспирант, ассистент каф. МТ-4

Волонтеры конференции:

Денисова А.Ф., Токарева А.С., Саркисян К.Э., Олейник К.Ю.	Сбор материалов конференции и переписка с участниками, подготовка сборника тезисов, студенты группы МТ6-42

Порядок проведения
Всероссийской научно-технической конференции студентов
«Студенческая научная весна 2017: Машиностроительные технологии»

4 апреля 2017г., вторник		
Заезди поселение иногородних участников конференции		
5 апреля 2017г., среда		
с 9-00 до 09-45	**Регистрация участников конференции Вручение свидетельств участника конференции**	**Главный учебный корпус (ГУК), ауд.213 (Читальный зал старших курсов)**
с 10-00 до 10-35	**Торжественное открытие конференции**	
	Заседание научных секций	
с 11-00 до 15-00	Секция 1. Металлорежущие станки и оборудование	ГУК, каф. МТ-1 ауд. 114
	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- 17:00	Подсекция 2-2. Конструирование, технология изготовления и эксплуатация режущего инструмента и технологической оснастки	ГУК, каф. МТ-2 (Инструментальный кабинет)
с 11-00 до 15-00	Секция 3. Технологии машиностроения	ГУК, каф. МТ-3 ауд.299а
	Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость	
11:00- 15:00	Подсекция 4-1. Информационно-метрологическое обеспечение жизненного цикла машин и механизмов	Корпус МТ, каф. МТ-4 ауд. 218
11:00- 15:00	Подсекция 4-2. Метрологическое обеспечение промышленности	Корпус МТ, ауд. 212 (ротонда)
с 14-00 до 17-00	Секция 5. Литейные технологии	Каф. МТ-5, ком. 23
	Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением.	
с 13-00 до 17-00	Подсекция 6-1. Моделирование и исследование технологических процессов ОД	ГУК, ауд.229 "Преподавательский читальный зал"
с 12-00 до 16-00	Подсекция 6-2. Проектирование прогрессивных технологических процессов и оборудования ОД	Здание каф. МТ-6, Учебно-методический кабинет
13:50- 17:00	Подсекция 6-3. Технологии листовой штамповки	ГУК, ауд.514
	Секция 7. Технологии сварки и диагностики	
с 11-00 до 16-00	Подсекция 7.1. Сварка	Каф. МТ-7, ауд. 209 (Зал заседаний)
с 11-00 до 16-00	Подсекция 7.2. Диагностика	Каф. МТ-7, ауд. 217
	Секция 8. Материаловедение в машиностроении.	
с 14-00 до 18-00	Подсекция 8.1. Термическая обработка сталей и чугунов	ГУК, каф. МТ-8, ауд.3
с 14-00 до 18-00	Подсекция 8.2. Термическая обработка цветных сплавов	ГУК, каф. МТ-8, ауд.15
с 11-00 до 16-00	Подсекция 8.3. Композиционные и неметаллические материалы	ГУК, ауд. 341а (напротив входа на каф.МТ-8)
с 11-00 до 16-00	Подсекция 8.4. Химико-термическая обработка и покрытия	ГУК, каф. МТ-8, ауд.11
с 15-00 до 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.	
с 12-00 до 14-00	Подсекция 11.1. Электронные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 313

с 14-00 до 17-00	Подсекция 11.2. Микро- и нанотехнолоии	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 304
с 14-00 до 17-00	Подсекция 11.3. Элионные технологии	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 313
с 14-00 до 17-00	Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении	Каф. МТ-12
с 13-00 до 17-00	Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф. МТ-13 ауд. 104
6 апреля 2017г. четверг		
с 12-00 до 15-00	Пленарная секция. Выбор лучшего доклада всей конференции. Заслушивается по одному докладу от кафедры. Приглашаются все участники конференции, а также преподаватели и аспиранты кафедр.	ГУК, ауд.345 (Читальный зал младших курсов, башенная часть ГУК)
15:40- 19:00	Профессиональный лекторий. Компьютерное моделирование в машиностроении: решения для литья, штамповки, сварки, термообработки, прочностных расчетов. Приглашаются все участники конференции, а также преподаватели и аспиранты кафедр.	ГУК, ауд.345 (Читальный зал младших курсов, башенная часть ГУК)
7 апреля 2017г. пятница		
с 15-40 до 17-00	**Торжественное закрытие конференции Вручение дипломов и призов за лучшие работы.**	**ГУК, ауд.213 (Читальный зал старших курсов)**
Отъезд иногородних участников конференции		

Секция I

Металлорежущие станки и оборудование

Председатель:	**Утенков Владимир Михайлович** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой МТ-1
Ученый секретарь:	**Ермолаев Михаил Михайлович** кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-1

УДК 621.941.01

ПОВЫШЕНИЕ СИЛОВОЙ ТОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЯ

Александр Олегович Галкин

Студент 4 курса,
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Г. Ширшов,
ассистент кафедры «Металлорежущие станки»

Для создания конкурентноспособных станков необходимо повышать их главное функциональное качество – точность и производительность. Различают силовую, тепловую и размерную точность станка [1]. Силовая точность оценивается смещениями, возникающими при силовом нагружении станка, тепловая – смещениями, вызванные нагревом и разницей температур, а размерная – точностью изготовления деталей, сборки станка и величиной износа.

Особую важность представляет силовая точность станка. Силовые смещения составляют от 40 до 80% в балансе точности станка [2], и их снижение заметно повысит силовую точность станка. Т.к. наибольшее влияние на конструкцию станка с целью повышения его точности можно оказать на стадии проектирования, встаёт задача оценки точности на стадии проектирования.

Существует теория силовых смещений [1], которая позволяет оценить силовую точность станка на стадии проектирования и выделить влияние на точность каждой детали и стыка, их геометрии, параметров (шероховатость стыка, материалы деталей и т.д.) и отдельных силовых факторов (внешних сил, сил трения и т.д.). Теория универсальна и может быть применена не только к конструкции машины, но и, например, инструментальной системы.

Расчёт всего станка по этой теории сложен, а полученная модель будет громоздка, поэтому в настоящее время проводятся исследования по автоматизации расчётов с её использованием. Для разработки автоматизированных расчётов было решено сделать ручной расчёт некоторой достаточно простой конструкции. В качестве такой конструкции была выбран резцедержатель, предназначенный для настройки положения резца по высоте.

Резцедержатель проектировался для ультрапрецизионных и мастер станков. Он устанавливается на столе станка типа МК6510Ф4 или Сфера 100 фирмы ООО «Ресурс Точности» и ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ». Его запатентованная конструкция [3] (см. рис. 1) имеет две регулировки – грубую и тонкую. Грубая регулировка осуществляется с помощью вертикального винта 1, при этом планка 2 с привинченной к ней державкой 3 движется вверх или вниз с использованием соединения «мышиный зуб». Тонкая регулировка осуществляется с помощью горизонтального винта 4, который перемещает клин 5 в горизонтальной плоскости. Перемещение клина приводит к изменению положения плиты 6 по высоте, а вместе с ней – положение планки 2 и державки 3.

Для конструкции резцедержателя предполагается построить упруго-фрикционную систему (УФС), которая будет описывать деформацию деталей и смещения в стыках. В результате работы планируется оценить силовые смещения конца державки 3 по чертежам расчётным путём, определить то место в конструкции, которое вносит наибольший вклад в смещение и дать рекомендации по повышению точности.

Некоторые рекомендации по улучшению силовой точности оправки можно дать уже до расчёта. Державка 3 – это консоль, а прогиб консоли пропорционален кубу её длины [4]. Для повышения силовой точности резцедержателя можно укоротить длину державки 3, по

максимуму приблизив крепёжные отверстия к её торцу, а в планке нужно сделан паз, чтобы в него могла заходить часть резца. Чтобы уменьшить прогиб оставшейся части консоли, в нижней части державки следует добавить ребро жёсткости.

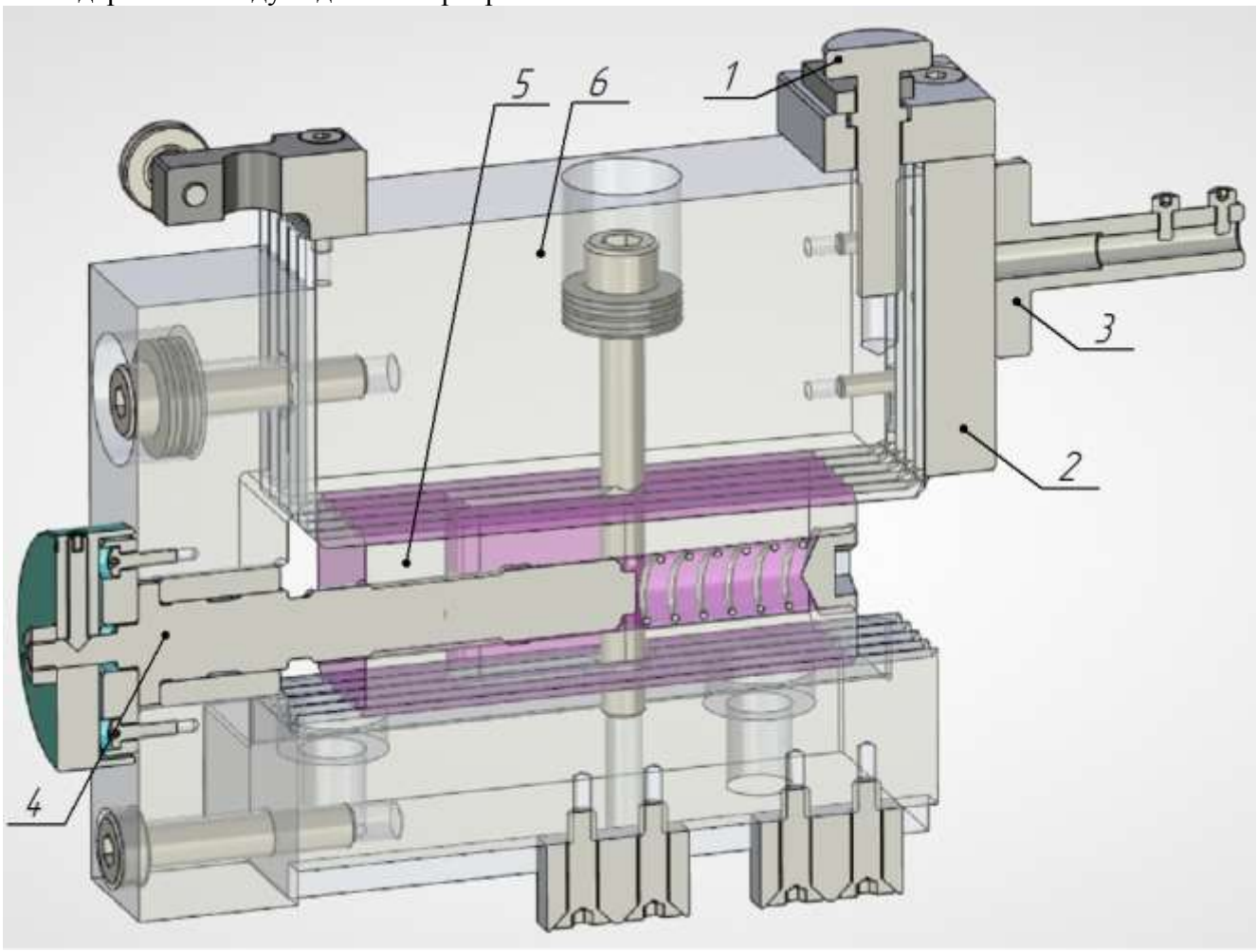


Рис. 1. Конструкция резцедержателя в 3

Известно, что стыки дают до 90% всех силовых смещений в конструкции [2], и уменьшение числа положительно сказывается на точность станка. Державка 3, планка 2 и деталь 3 не перемещаются относительно друг друга, и стыки между ними можно удалить, создав одну деталь из этих трёх (см. рис. 2а). В таком случае фланец от державки 3 становится ненужным, и это позволяет сделать консоль ещё короче. Модернизированный вариант конструкции представлен на рис. 2б.

Таким образом, ещё до детальной оценки силовой точности конструкции резцедрежателя удалось предложить способы повышения её точности. Чтобы задействовать весь потенциал конструкции, планируется провести для неё расчёт силовой точности с последующим анализом слабых мест.

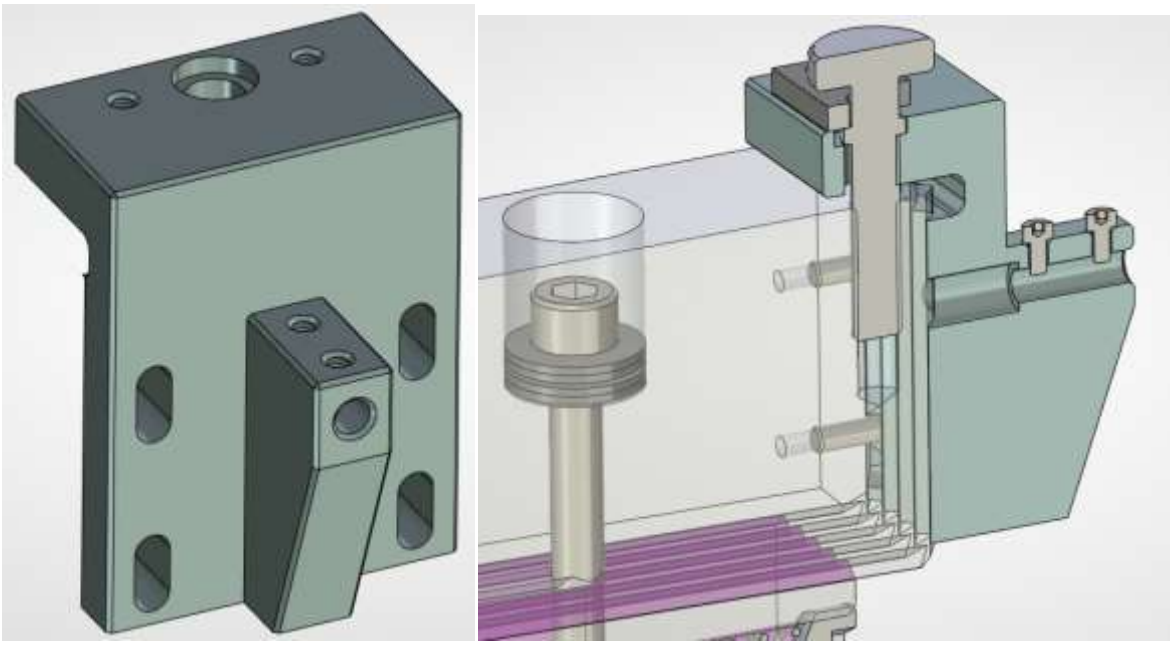


Рис.2.а)модернизированная державка,
б) модернизированная конструкция резцедержателя

Литература

1. *Чернянский П.М.* Расчет точности станков на стадии проектирования // Вестник машиностроения. 1990. №4 стр.10-16.
2. *Левина З.М., Решетов Д.Н.* Контактная жёсткость машин. М., "Машиностроение", 1971. 264 стр.
3. Описание полезной модели № 163817 "Резцедержатель".
URL http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=163817&TypeFile=html
Дата обращения 15.03.2017.
4. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов: Учеб.для вузов. - 10-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 592 с. (Сер. Механика в техническом университете; Т.2).

УДК 621.9.08

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СТАНКА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ

Ксения Олеговна Гречушникова

Студент 6 курса , специалитет
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Б.М. Дмитриев
доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки».

Вступление.

Современное станкостроение характеризуется двумя противоречивыми тенденциями. Первая тенденция – это требование автоматизации рабочего процесса в механической обработке и ужесточения режимов резания. Вследствие этого увеличивается энерговооружённость станочной системы. Как следствие, усиливается влияние термических воздействий на точность станка. Вторая тенденция состоит в том, что современные требования качества изделий

машиностроения требуют ужесточения требований точности производимых деталей через ужесточение точности станка.

Разрешению данного противоречия посвящено достаточное количество различных способов стабилизации термических воздействий [1-3]. Каждое из этих предложений имеет свою область применения.

Один из таких способов состоит в создании пред искажения положения в пространстве формообразующих узлов станка в процессе сборки [4]. Действие такого способа состоит в том, что положения формообразующих узлов станка располагают согласно ГОСТ определённым образом (см. ГОСТ 18097-93). Во время рабочего процесса теплота, возникающая от работающих механизмов, приводит конструкцию в механическое движение. Начальное положение формообразующих узлов изменяется от этого действия и точность станка изменяется. Начальное положение наладки станка на точность обработки изменяется. По истечении времени, движение приводит точность станка в состояние отказа. Во время сборочного процесса пред искажают положение оси шпинделя в сторону противоположную будущим действиям термических процессов. Во время рабочего процесса ось шпинделя под действием теплоты перемещается в сторону повышения точности станка. В какой-то момент, к середине смены, конструкция имеет наивысшее значение точности станка. При дальнейшей работе термические воздействия, продолжая свои действия, ухудшают точность станка Реализация такого способа требует наличия предварительной информации о величине пред искажения и его направления относительно положения сборочных единиц в процессе сборки. Данную информацию на станкостроительных заводах собирают по результатам длительных работ в условиях эксплуатации. Однако за время сбора требуемой информации возникает новая модель станка и полученная информация теряет свою актуальность, так как новая модель имеет иную конструкцию.

Для использования положительных моментов способа пред искажения предлагается использовать в качестве базы для проведения исследований опытный образец станка перспективной модели. Опытный образец станка, прошедший все виды испытаний и принятый к серийному производству, подвергают исследованию термическими воздействиями. Цель таких исследований состоит в том, чтобы определить поведение конструкции станка во время действия термических возмущений на всём диапазоне возможных термических воздействий.

Методика проведения исследований

В качестве технического объекта апробации подхода использовали станок с горизонтальным расположением оси шпинделя. В силу того, что термические воздействия приводят конструкцию в термическое движение, то для исследования параметров термического движения требуется выбрать систему отсчёта.

Система отсчёта состоит из следующих составляющих. Это прямоугольная система координат, расположенная внутри рабочего пространства. (рис. 1).

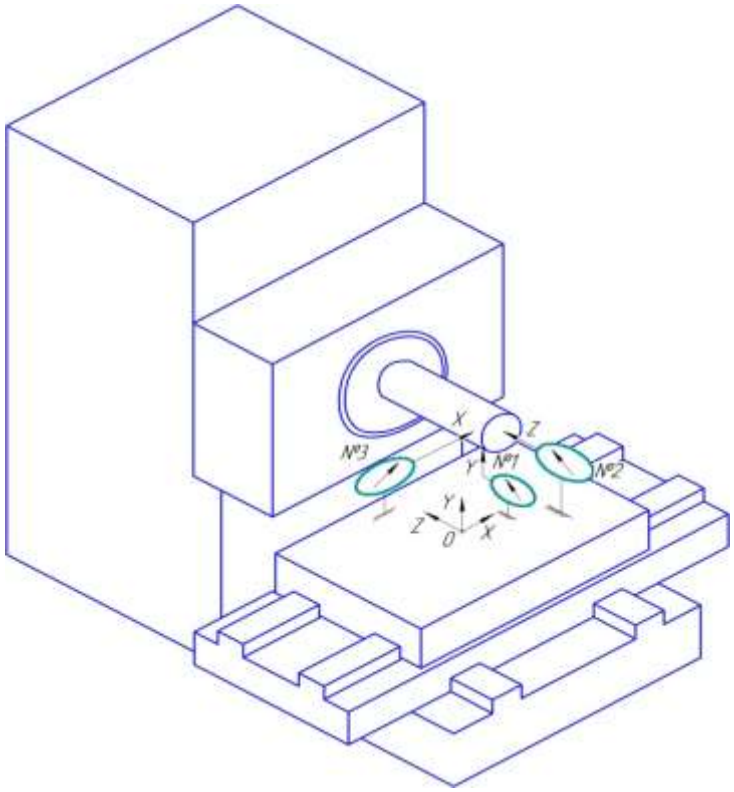


Рис. 1. Измерение параметров положения оси шпинделя по трем координатам.

В этой системе определяют изменение положения оси шпинделя во время проведения исследований. Линейные преобразователи оценивают параметры траектории движения оси шпинделя относительно стола станка при действии термических воздействий. Исследования проводят на каждой частоте вращения шпинделя.

В процессе эксплуатации станок не всегда находится в работе, так как периодически производятся смена заготовки, инструмента и другие мероприятия по обслуживанию станка, в это время станок охлаждается. Чтобы приблизить исследования к реальным, после нагревания шпинделя выключаем станок и с периодичностью снимаем показания смещения оси шпинделя относительно стола станка при охлаждении на всех частотах вращения.

Обработка данных до результата.

После проведения исследования станка на данном режиме производят оценку параметров термического движения оси шпинделя относительно стола станка.

По полученным данным строятся графики изменения положения плоскости фланца шпинделя во времени исследования.

Для получения наиболее вероятной точки для пред искажения необходимо определить точку, в которой площадь под графиком делится пополам. Для этого сначала вычисляем площадь под каждым графиком при помощи интегрирования функции, и находим точку, в которой эта площадь делится пополам методом перебора.

Получаем пред искажения для каждой частоты вращения. Аналогично получаем данные, полученные при охлаждении шпинделя.

По этим данным строим графики в плоскостях XY, ZX, ZY для нахождения координат оптимальной точки пред искажения.

Аналогично находим точку, которая делит площадь под графиком пополам при помощи интегрирования. Полученные данные сведены в таблицу 1.

При нагревании	При охлаждении
X=4; Y=10; Z=-1	X=-1; Y= 2; Z=3

Далее в плоскостях строим графики изменения положения, начальным положением считаем пред искажение при нагревании (точка А), а конечным пред искажение при охлаждении точка (В) (рис. 2).

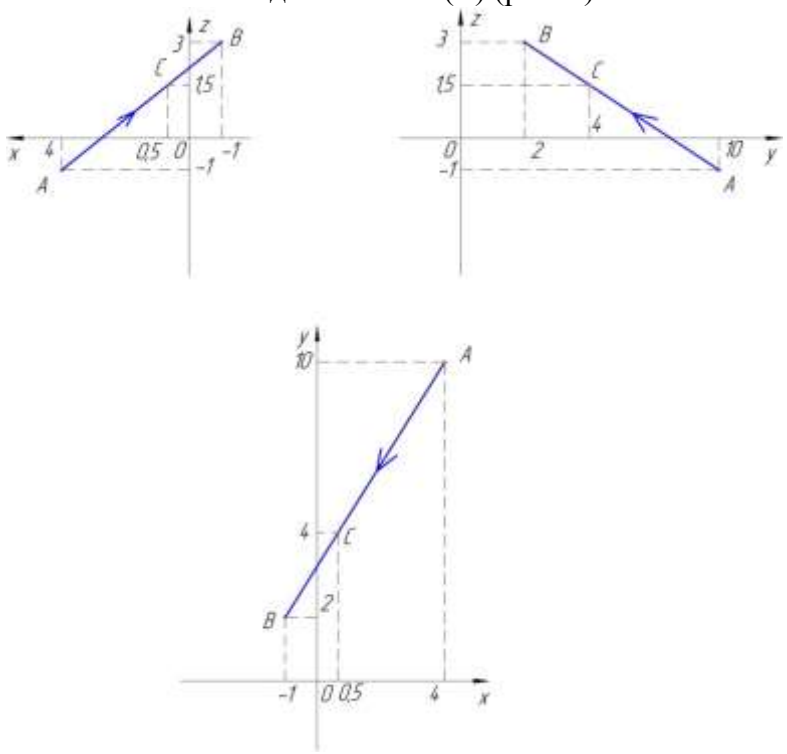


Рисунок 2. Графики пред искажений при охлаждении и нагревании.

Предположим, что время работы станка за смену составляет 2/3 времени смены, тогда на графике откладываем точку С на расстоянии 2/3 от длины графика считая от начальной точки А (нагревания) (рис. 2). Далее получаем конечную точку С с координатами X=0,5; Y=4; Z=1,5; на которую необходимо пред исказить положение шпинделя для получения более точной обработки поверхностей на всех частотах вращения.

Обсуждение результатов.

Полученные результаты характеризуют поведение конструкции, имея начало процесса изменения взаимного положения фланца шпинделя относительно стола. Величина отклонения характеризуется величинами отклонений по трём осям. Данная информация служит базой для принятия решения о величине пред искажения.Сформирован подход для получения пред искажения станка. Учтены его нагревание и охлаждение.

Выводы:

1. Представленные результаты показывают возможность повысить точность станка.
2. Данный подход характеризуется меньшими затратами как временными, так и материальными, чем другие способы.
3. Данный способ имеет определённую область применения для металлорежущих станков среднего габарита.
4. Для получения более достоверных результатов необходимо измерять и угловые координаты смещения оси шпинделя относительно стола станка.

Литература:

1. *Соколовский А. П.* Расчет точности обработки на металлорежущих станках. М.:Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 289с.
2. *Суслов А. Г.* Научные основы технологии машиностроения / *А. Г. Суслов, А. М. Дальский*. – М.: Машиностроение, - 2002. – 646 с.

3. *Поляков А. Н., Кравцов А. Г.* Прогнозирование тепловых характеристик станка в условияхнепрерывной работы // Вестник машиностроения. – 2005. - №10. – С. 43-49. Библиогр.: с.49.
4. ГОСТ 18097-93. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности.
5. ГОСТ 24643 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски и расположения поверхностей. Числовые значения. – Введен 2004 – 07 – 01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 11 с.
6. Автоматизированная измерительная система для исследования термического состояния станка/ *Куц М.С./* Сборник трудов конференции «Будущее машиностроение России 2013». – 4 с.
7. *Chuan-Wei Chang, Yuan Kang, Yi-Wei Chen, Ming-Hui Chu and Yea-Ping Wan.* ThermalDeformation Prediction in Machine Tools By Using Neutral Network. ICONIP 2006, Part II, LNCS 4233, pp. 850 – 859.

УДК 621.867.212

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Василий Константинович Жёлтиков, Никита Константинович Антонцев

Студенты 2 курса,
специальность АТП,
ГБПОУ г. Москвы "Колледж связи № 54"им. П.М. Вострухина

Научный руководитель: В.А. Ванин,
кандидат технических наук, преподаватель ГБПОУ г. Москвы "Колледж связи № 54" им. П.М. Вострухина

Система контроля качества изделий и сортировки является одной из важных подсистем автоматизированного производства. Скорость и точность проведения контрольных измерений во многом определяют качество готовой продукции и производительность производства в целом. К измерительным системам контроля качества детали и системам сортировки предъявляются требования максимального быстродействия и точности. В случаях, когда используемое оборудование позволяет производить изделия с высокой скоростью, для решения задач контроля и сортировки часто разрабатывается специализированное оборудование, максимально эффективно обслуживающее определенный класс деталей [6].

На сегодняшний день широкое применение находят гибкие технологические комплексы, способные производить продукцию различного типа и размера. Для производств, оснащенных такими комплексами, задача контроля и сортировки изделий встает наиболее остро, поскольку невозможно разработать эффективное специализированное автоматическое оборудование для произвольной детали. Следует также отметить и новый класс машин, базирующийся на использовании достижений точной механики, электропривода, контрольно-измерительных приборов, электроники, компьютерного управления – *мехатронных модулей.* Широкое внедрение в промышленность мехатронных модулей объясняется высокими скоростями

движения рабочих органов машин; сверхвысокой точностью движений при обработке деталей; максимальной компактностью конструкции машин.

Для решения задач автоматизации контроля качества и сортировки деталей применяются как универсальные методы, так и специальные измерительные системы. Примером универсальной автоматической системы контроля точности и сортировки деталей является мехатронный модуль ТР-СРС серии DEGEM. Управляемый от компьютера мехатронный модуль ТР-СРС имеет широкие возможности перепрограммирования на различные классы деталей: как по диаметральным размерам, так и по их толщине и материалу изготовления.

Это достигается регулировкой направляющих элементов модуля и установкой соответствующей высоты измерительных преобразователей – датчиков относительно движущейся ленты транспортера.Данный мехатронный модуль используется для контроля точности и сортировки деталей по 4-м группам:

1. Металлические тонкие.
2. Металлические толстые.
3. Неметаллические тонкие.
4. Неметаллические толстые.

Конвейер оснащен приводом, который обеспечивает постоянную скорость движения ленты (рис. 1). Управление осуществляется с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК). В состав ПЛК входят: измерительная система (ИС), система логического управления (СЛУ), система управления приводом отсекателя (СУПО).

Деталь, установленная на ленту, последовательно проходит 3 датчика измерительной системы. Информация, полученная с датчиков, обрабатывается ИС и выдается СЛУ. СЛУ анализирует полученную информацию и в соответствии с логикой, заданной оператором системы, выдает команду на СУПО. СУПО осуществляет регулирование положения отсекателя в соответствии с заданием, полученным от СЛУ.

Для регулирования положения используется фотоэлектрический датчик обратной связи (ДОС) положения ротора электродвигателя (ЭД1). Поступательное перемещение отсекателя осуществляется при помощи передачи винт-гайка от ЭД1 через ременную передачу. Как только деталь попадает в одну из 4-х ячеек накопителя, ПЛК дает разрешение на установку на конвейер следующей детали для контроля.

Цель данной исследовательской работы – увеличение производительности мехатронного модуля «Автомат контроля точности и сортировки деталей».

В ходе эксплуатации мехатронного модуля было выявлено, что оценка точности изготовленных деталей осуществляется строго в последовательном цикле, т.е. первая деталь должна пройти все позиции контроля, после чего выдается разрешение на установку следующей детали. Такая работа автомата очень сильно снижает его производительность.Экспериментально построенная циклограмма с применением методов математической статистикипозволила определить полный цикл контроля деталей, который составляет 27 сек., причем около 10 сек. отводится ПЛК для обработки информации и выдачи разрешения на установку 2-й детали.

Для решения этой проблемы разработан новый алгоритм обработки информации с датчиков и работы СЛУ. Представленный для исследования мехатронный модуль не позволяет вносить изменения в программу контроллера, реализующего управляющие алгоритмы. Поэтому, для реализации принятых решений необходима разработка нового устройства управления модулем.

В рамках данной работы рассматриваются вопросы как модернизации самой системы управления модулем, так и разработки новых алгоритмов модернизированной системы управления, которые позволяют решить обозначенные проблемы. Особое внимание было уделено возможностям современных элементов автоматизации – *микроконтроллеров,* имеющих в настоящее время широкое внедрение во всех отраслях промышленности.

Детальный анализ работы мехатронного модуля «Автомат контроля точности и сортировки деталей» мод. ТР-СРС показывает, что для повышения его производительности необходимо обеспечить возможность одновременного измерения нескольких деталей. Поскольку ИС включает в себя 3 датчика, возможна одновременная регистрация параметров 3-х различных деталей. Для обеспечения работоспособности измерительного комплекса необходимо ввести в состав контроллера системы управления устройство синхронизации, которое позволит соотносить полученные измерения с перемещением детали на конвейере.

Из экспериментально полученныхвременных диаграмм работы существующей ИС.видно, что накопление информации о детали происходит до тех пор, пока она не пройдет все 3 датчика. После чего СЛУ принимает решение о перемещении отсекателя. После истечения времени укладки детали в накопитель цикл завершается. Из-за этого в системе имеется значительный простой ИС на этапе сбора информации с датчиков. Интервал между срабатываниями датчиков составляет2сек. Интервал до помещения детали отсекателем в ячейку накопителя составляет 10 сек. Таким образом, суммарное время цикла составляет 27 сек на 1 деталь. Эти простои определяются скоростью движения ленты конвейера, а также алгоритмом, заложенным в контроллер СЛУ.

В предлагаемой модернизированной системеуправления (рис. 1) все элементы управления инициируются по сигналам Системы синхронизации (СС). Поскольку, как уже говорилось выше, существующая система не позволяет вносить изменения в алгоритмы работы программ управления, целесообразно заменить все управляющие элементы одним микроконтроллером.

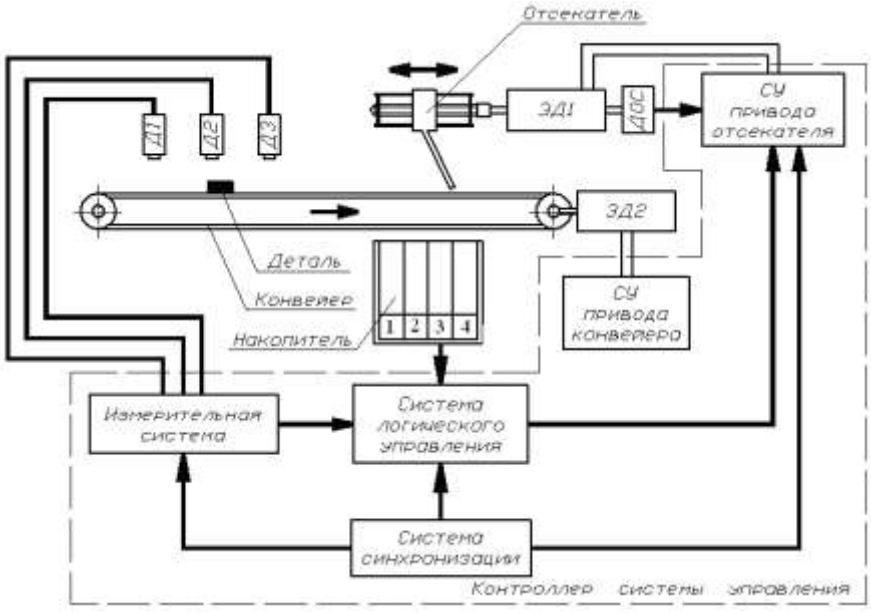


Рис. 1. Модернизированная структурная схема системы управления мехатронным модулем «Автомат контроля точности и сортировки деталей» мод. ТР-СРС

Время измерения одной детали каждым датчиком значительно меньше времени движения детали под датчиком. Время перемещения детали от датчика к датчику составляет 35 сек., а само измерение производится менее чем за 1 сек. Поскольку на движение от последнего датчика до разрешения на установку следующей детали затрачивается 15,5 сек., за это время можно обработать 5 деталей, а также еще 3 детали, находящиеся непосредственно под датчиками. Таким образом, максимальное количество деталей, доступных для одновременного контроля составляет 8 шт.

Разработанная модернизированная система управления мехатронным модулем и предложенный алгоритм работы СЛУ позволяет практически в 8 раз увеличить производительность мехатронного модуля. Фактическими ограничениями максимального количества измеряемых деталей являются быстродействие привода отсекателя и время срабатывания датчиков ИС.

В дальнейшей работе планируется реализация модернизированной системы управления на базе микроконтроллера семейства AVR, производимого известной фирмой AtmelCorporation (www.atmel.com), и внедрение разработанных алгоритмов управления мехатронным модулем «Автомат контроля точности и сортировки деталей» мод.ТР-СРС.

Литература

1. *Голубцов М.С.* Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / М. С. Голубцов — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 288 с.
2. *Егоров О.Д., Подураев Ю.В*. Расчет и конструирование мехатронных модулей; учебное пособие. –М.: МГТУ «СТАНКИН», 2012,- 422 с.
3. *Микушин А.В.*Занимательно о микроконтроллерах.-СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 432 с.
4. *Минаев И. Г.* Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера / И. Г.Минаев, В. В. Самойленко. - Ставрополь: АГРУС, 2009. -100 с.
5. *Таугер В.М.*Конструирование мехатронных модулей : учеб.пособие. — Екатеринбург: УрГУПС, 2009. — 336 с.
6. Технологическое оборудование машиностроительного производства. Черпаков Б.И., Вереина Л.И. М.: Academia. 2012. – 448 с.
7. *Чернов Н.Н.* Технологическое оборудование (металлорежущие станки). М.: Феникс. 2011. – 496 с.

КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МНОГОПОТОЧНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

Александр Вадимович Михрютин

Студент 2 курса,
кафедра «Мехатронные системы и процессы формообразования»
Рыбинский Государственный Авиационный Технический Университет

Научный руководитель: В. В. Михрютин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С. С. Силина»

Одним из направлений развития современного машиностроения является совершенствование методов быстрого прототипирования конструкций. Наиболее распространенной разновидностью печати является технология послойного наплавления (Fusing Deposition Modeling, FDM). В ней расплавленный материал (чаще – пластик) подводится к зоне печати и застывает в ней, наплавляясьна ранее напечатанную модель.

Наибольшее распространение получил способ однопоточной печати. Конструкции экструдеров для подачи пластика постоянно совершенствуются, на сегодняшний день для однопоточной печати наиболее совершенной считается экструдер J-формы шестого поколения (J-head hotend V6)[1].

В настоящее время известно значительное число разновидности конструкций печатающих головок для печати различными пластиками [2].

Существующие конструкции можно классифицировать на два основных типа.

Первый тип построен на принципе увеличения числа независимо работающих сопел для подачи пластика, а второй – на выдавливании раздельно подаваемых пластиков через одно сопло.

Наиболее просто реализуется печать с использованием двух экструдеров. Данная конструкция включает в себя два экструдера с независимой подачей двух пластиковых нитей к каждому экструдеру через втулки. Данная конструкция получила название «Chimera»[3].

Дальнейшее развитие данного направления идет по пути увеличения числа рабочих сопел.

Следующей разновидностью конструкции устройства, реализующего многопоточную печать, является устройство, в котором используется одно сопло, к которому подводится разогретый пластик от нескольких пластиковых нитей («Cyclops»)[3].

Устройства с одним соплом достаточно просты в реализации, использование одного сопла для подачи разных пластиков позволяет повысить точность печати по сравнению с устройствами с раздельными соплами. Однако в данных устройствах существуют проблемы, связанные с необходимостью наличия всех пластиковых нитей в питателях, иначе пластик может выдавливаться в не заправленный питатель, нарушая консистентность экструдирования; после охлаждения пластик застревает в экструдере, делая невозможной смену пластика.

Для принтера с пятью экструдерами существует конструкция, позволяющая отводить сопла [4]. Устройство содержит поворотную каретку, с отверстиями, в которых установлены выдвижные экструдеры. Каждый из экструдеров имеет независимую систему подачи нити. Возврат экструдера происходит при помощи пружины. Выбор экструдера выполняется при помощи поворотакаретки. После выбора вывод экструдера производится его выдвижение в рабочее положение при помощи толкателя.

В данном устройстве также обеспечивается нахождение в рабочей позиции только одного сопла.

Основным недостатком такого устройства является низкое быстродействие. При многоцветной печати повышение времени переключения рабочих сопел в ряде случаев может существенно замедлить скорость печати.

Указанные выше технические решения позволяют создавать 3D принтеры с достаточно узкими технологическими возможностями, поскольку число используемых при печати экструдеров не превосходит пяти. Поэтому актуальной задачей является разработка механизмов автоматизированной смены экструдеров, позволяющих использовать при печати не только пластики разных цветов, но и сопла разных диаметров.

К устройству многопоточной печати предъявляются следующие требования:

– обеспечивать печать разнородными пластиками с различной температуройплавления;

– обеспечивать быстродействие переключения рабочих потоков Данная задача может быть решена на основе развития конструкции многопоточных экструдеров с несколькими отводимыми соплами.

Литература

1. *Зленко М.А*. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб.по-собие/М.А. Зеленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 223 с.
2. Cyclops&ChimeraDocumentation/ [Электронныйресурс] http://wiki.e3d-online.com/wiki/Cyclops_&_Chimera_Documentation.Датаобращения 23.12.16.
3. ZHANG GUODONG, CUI GONGGAO. Color look 3D printer is not scurried to many shower nozzles based on hot melt is extruded. Патент CN205167575. Заявл. 10.11.2015. Опубл. 20.04.2016.

УДК 621.09

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНКОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Виталий Андреевич Плетнев

Студент 4 курса,
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

В современном мире прогресс не стоит на месте, но в тоже время на станкостроительных предприятиях часто преобладает узкотехнический взгляд, в том числе и на внедрение новых информационных технологий. Идея автоматизированных рабочих мест (АРМов), соединенных сетевым кабелем, а по сути — информационно и организационно-автономных давно уже устарела. Рыночная конкуренция и эволюция информационных технологий привели к смене методов проектирования высокотехнологичных промышленных изделий и принципов взаимодействия специалистов, участвующих в этом процессе. В технической подготовке любого производства объектом разработки становится не комплект конструкторской и технологической документации, а электронное описание изделия. В связи с этим можно выделить несколько основных групп проблем станкостроительных предприятий [1]:

- организационно-методологические;
- отраслевые (или рыночные);
- социально-психологические;
- проблемы рассогласования;
- проблемы автоматизации.

Организационно-методические проблемы во многом связаны с неумением

работников, отвечающими за техническое перевооружение, взаимодействовать со специалистами отдела маркетинга и сбыта, службами, отвечающими за ценообразование и т.д. Не редко оборудование на предприятиях приобретается под конкретный вид изделий, востребованный рынком, так как многолетний опыт приучил специалистов отдавать приоритет технологическим возможностям оборудования без привязки к конкретной номенклатуре деталей. Традиционная технология «планового» перевооружения слабо связана со спецификой изделий, которые планируется изготавливать на новом оборудовании. Закупки и поставки нового оборудования производится без анализа и учетаопций поставляемого оборудования. На предприятиях сохраняется тенденция «лоскутного» перевооружения, когда приобретается одно оборудование различных производителей, что приводит к сложностям в обслуживании и комплектации запчастями.

Проблемы рассогласования на станкостроительных предприятиях, возникают из-за приобретения дорогостоящих систем автоматизированного проектирования (САПР), делается акцент на обучение персонала, но совершенно не уделяют внимания организационным изменениям взаимодействия между подразделениями. Современные САПР носят комплексный характер и требуют проектной организации подготовки производства с едиными целями, ориентированными на конечный результат. Результат этот — постановка изделия, металлорежущего станка, на производство в заданные сроки, в соответствии с требованиями заказчика, без традиционного дробления задачи на подзадачи для дизайнеров, конструкторов, технологов и т.д. Огромные возможности комплексных САПР рассыпаются, столкнувшись с традиционной организацией станкостроительного производства, при которой каждый сотрудник делает что-то свое (зачастую математические модели конструкторов и технологов вообще никак не связаны), возникают информационные разрывы, нет единого управления процессом.

Эффективность внедрения САПР легко проверить, посетив не конструкторские и технологические отделы, а сами цеха. Ощущаются ли в итогесерьезные изменения в сроках, качестве, сократилось ли количество ошибок при сборке. Если на производстве не произошло реальных изменений, эффективность САПР равна нулю.

Проблема автоматизации различных производств является основной задачей развития машиностроения в целом и станкостроения в частности. Остановимся на этой проблеме более подробно.

Автоматизация различных производств является основной задачей развития машиностроения в целом и станкостроения в частности. Выбор экономически обоснованных производственных систем в различных видах производств очень важен. В современном мире существенно растет ассортимент и номенклатура изделий, уменьшается серийность их выпуска, что придает производству характер единичного и мелкосерийного. В крупносерийном и массовом производстве также прослеживаются тенденции к сокращению периода модернизации изготовляемых машин.

Проблема автоматизации, а также изменение характера производств в сторону единичного и мелкосерийного требуют решения целого ряда технических и организационных задач, связанных с сокращением времени запуска изделия в производство, а также с уменьшением затрат на переналадку оборудования и обеспечения быстрого выпуска новой продукции.

Оптимальным решением описанных выше проблем станкостроительных предприятий является внедрение модульного принципа разработки, проектирования и производства металлорежущих станков. Многие зарубежные станкостроительные фирмы уже используют модульный принцип при создания большого многообразия компоновок металлорежущих станков.

Вывод. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что в современном станкостроении, для повышения эффективности проектирования металлорежущих станков, обеспечения заданных показателей точности и производительности металлорежущего оборудования целесообразно учитывать различные группы проблем возникающих на предприятии.Решение проблем взаимодействияразличных специалистов на предприятии, повышение эффективности внедрения САПР, все это позволит повысить качество проектирования металлорежущего оборудования.

Литература

1. *Бирбраер Р.А., Альтшулер И.Г.* Основы инженерного консалтинга. – М.: Дело, 2007. – 232 с.
2. *Проектирование автоматизированных станков и комплексов: учебник в 2 т. / под ред. П.М.Чернянского. – 2-е изд., испр.— М.: издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014.*
3. *Аверьянов О.И.,* Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, Москва, 1987. – 232 с.
4. *Ягопольский А.Г. «Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров перемещения суппортных узлов» // Вестник МГТУ, серия «Машиностроение», 2010, №2(79), с 91-105.*
5. *Ягопольский А.Г., Тимофеев П.Г.,* Роль и значение PDM-систем при разработке технологического оборудования // Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2016 .- № 10 .- С. 73 - 81
6. *Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю.* Мехатронный комплекс диагностических испытаний и прогнозирования надежности токарных станков // Машиностроение 2016 .- № 3 .- С. 49 - 55

УДК 621.09

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗНАШИВАНИЯ

Денис Олегович Савватеев, Магомед Марифович Рамазанов

Студенты 4 курса
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

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

Одной из основных задач стоящих перед машиностроителями является обеспечение качества изготовления машин, оборудования и приборов. Их качество во многом предопределяется надежностью металлорежущих станков, так как, чаще всего, именно они формируют показатели качества деталей машин. Поэтому оценка надежности станков и прогнозирование её изменения при различных условиях эксплуатации является важной задачей.

Проблема надежности связана в первую очередь именно с прогнозом, так как констатация того или иного уровня надежности станка имеет малую ценность. Точность прогнозирования во многом зависит от того, насколько принятая схема потери станком работоспособности соответствует действительности, насколько достоверны сведения о режимах и условиях предлагаемой работы станка.

Одним из основных процессов, ухудшающих начальные параметры станка, является изнашивание направляющих. Этот процесс приводит к нежелательному изменению траектории движения суппорта, что в свою очередь определяет погрешности изготавливаемой детали.

Изнашивание – процесс постепенного изменения размеров тела при трении, проявляющихся в отделении с поверхности трения материала и его остаточной деформации. Раскрытию механизма износа материалов и закономерностей определяющих его протекание посвящены работы многих исследователей. Исходным положением при изучении износа является представление о дискретном касании шероховатых тел и, как следствие этого, возникновением отдельных фрикционных связей, определяющих процесс изнашивания.

На интенсивность возникновения и виды этих связей влияет большое число различных факторов:

1. Геометрические параметры качества сопряженных деталей
2. Механические свойства и структуры материалов.
3. Режимы нагружения и т.д.

В настоящее время нет еще частной методики, которая позволяла бы рассчитать параметры изношенного сопряжения, а следовательно, и параметрическую надежность всего станка в зависимости от условий его эксплуатации.

Для решения такой задачи необходимо иметь достоверную информацию о закономерностях изменения скоростей изнашивания материала направляющих в зависимости от условий эксплуатации станка. Эти закономерности имеют статистическую природу, так как зависят от большого числа факторов. И поэтому нельзя точно рассчитать скорость изнашивания, а возможно лишь определение вероятности того или иного ее значения.

Выявить закономерности изнашивания можно путем физико-статистического моделирования процесса, используя общий методический подход прогнозирования надежности с применением метода Монте-Карло.

Суть этого метода заключается в том, что при проведении испытаний вначале устанавливается массив режимов нагружения, который отражает не только диапазон изменения скоростей, нагрузок и т.п, но и законы их распределения и т.д. в реальных условиях эксплуатации. Выбор режимов нагружения каждого конкретного испытания производится методом Монте-Карло, применяемым при статистическом моделировании. Полученные данные можно считать выборкой из генеральной совокупности скоростей изнашивания материалов направляющих.

При проведении испытаний необходимо исследовать влияние частоты изменения режимов нагружения на скорость изнашивания. Так как режимы нагружения всегда имеют конкретные значения, то за равные промежутки времени можно провести испытания на всех режимах массива. Законы распределения режимов нагружения будут реализованы правильно со статической точки зрения, но продолжительность испытания на каждом режиме будет разная. Это может оказать влияние на скорость изнашивания и даст дополнительный материал для ее математического описания.

Для проведения исследований скоростей изнашивания материалов направляющих станков методов физико-статического моделирования и получения достоверных и воспроизводимых и результатов требуется:

1. Тщательное изучение и математической описание возможных условий эксплуатации станков.
2. Экспериментальная установка, которая обеспечивает весь диапазон режимов нагружения и возможность их быстрого переключения.
3. Чтобы исследуемые образцы возможно ближе моделировали параметры качества направляющих
4. Применение высокоточных и быстродействующих приборов для измерения величин износа.

Литература

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М., «Машиностроение», 2002, 592с.
2. Проников А.С. Технологическая надежность станков. М., «Машиностроение», 1974, 344 с.
3. Комбалов В.С., Влияние шероховатости твердых тел на трения и износ, М., «Наука», 1974, 112с.
4. Кордонский Х.Б. и др., Вероятностный анализ процесса изнашиваня, М., «Наука», 1968, 56с.
5. Проников А.С.,Методы оценки трущихся сопряжений металлорежущих станков, Минск, «Наука и техника», 1976, 100с.

УДК 621.09

МОДУЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Виталий Андреевич Плетнев

Студент 4 курса,
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

Модульный принцип построения станков основан на использовании унифицированных узлов и механизмов (модулей) при проектировании металлорежущих станков, выпускаемых либо станкостроительными предприятиями, либо специализированными производствами, занимающимися выпуском определенной номенклатуры унифицированных узлов и механизмов для металлорежущих станков.

Одной из главных особенностей при применении модульного принципа построения станков является проектирование конструктором самостоятельно по сути лишь базовых узлов станка, в то время как остальные нужные узлы и механизмы он выбирает из каталогов. Тем самым, время, затрачиваемое на проектирование металлорежущего станка, сокращается. Кроме того, имея спроектированные базовые узлы станка, конструктор может из отдельных модулей собрать желаемую компоновку и конструкцию металлорежущего станка.

Наиболее важными признаками, по которым классифицируют модульные системы металлорежущих станков, являются характеристики унифицированных узлов, например: точность; размеры и пр. Качественная составляющая модульной системы оценивается таким параметром, как уровень технологической приспособляемости системы к производственным задачам. В таблице 1 представлено разделения модульных систем по уровню технологической приспособляемости [2].

Таблица 1. Классификация модульных систем по уровню технологической приспособляемости

Модульная система		Тип производства
Уровень	Характеристика	
I	Построение типоразмеров станков для обработки деталей разных размеров	Единичное, мелкосерийное
II	Построение модификаций станков для обработки деталей с разным циклом и относительным расположением обрабатываемых поверхностей	Единичное, мелкосерийное
III	Построение модификаций станков по уровню автоматизации	Единичное, мелкосерийное
IV	Построение станков для разнообразных условий производства с учетом серийности, номенклатуры, обрабатываемых материалов	Мелко- и среднесерийное

Таким образом, можно выделить основные положения, характеризующие модульный принцип проектирования и изготовления станков:

1) модуль – это конструктивно и функционально законченная единица, являющаяся составной частью общей системы станков;

2) узкая номенклатура модулей должна обеспечивать создание наибольшего количества различных компоновок станков путем многообразия сочетаний и положений модулей;

3) модули характеризуются наименьшим числом связей для присоединения других модулей к ним;

4) сокращается время и трудоемкость проектирования металлорежущих станков, поскольку модульный принцип позволяет в полной мере использовать более ранние разработки;

5) уменьшение разновидностей конструкций станков улучшает условия их эксплуатации, а также увеличивается их ремонтопригодность;

6) увеличивается надежность работы станков за счет того, что модули, входящие в станки, отрабатываются длительное время, и конструкция с модулями в наибольшей степени соответствует выполняемой задаче.

На сегодняшний день можно выделить два способа реализации модульного принципа построения станков:

1) каждое станкостроительное предприятие самостоятельно разрабатывает ограниченную номенклатуру модулей основных узлов выпускаемого типоразмера станка, используя которые разрабатываются затем конкретные модификации станка по заказу потребителя;

2) станкостроительные предприятия проектируют необходимые модификации станков на основе применения широкой номенклатуры различных готовых узлов и механизмов, разрабатываемых и изготавливаемых специализированными организациями.

На рис.1 представлен пример модульного построения координатных суппортов с различным числом управляемых координат.

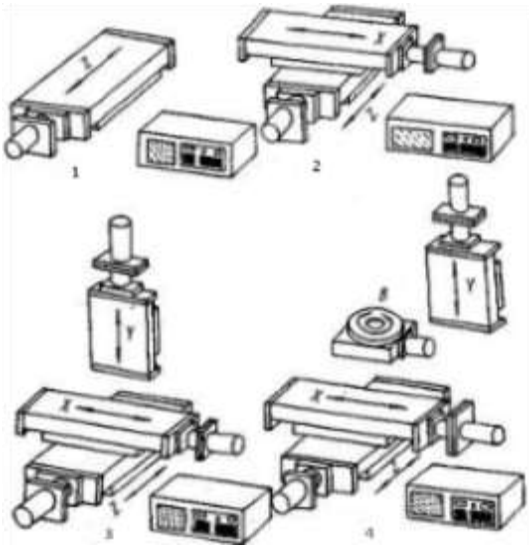


Рис. 1. Модульное построение координатных суппортов с различным числом управляемых координат X, Y, Z, B: 1- одной, 2- двумя, 3- тремя, 4- четырьмя

Модульное проектирование позволяет создавать новое высокопроизводительное металлорежущее оборудование для оптимальной обработки заготовок, а не подводить технологический процесс под возможности уже имеющегося оборудования. Модульный принцип создает реальные предпосылки для замены устаревших форм и методов проектирования новых конструкций станков и их систем. Это позволяет создать широкие гаммы станков на основе базовой модели, широко использовать принципы агрегатирования. Наиболее удачной можно считать такую компоновку станка, на основе которой можно создать гамму станков различного технологического назначения с большим количеством заимствованных узлов.

В современном станкостроении в условиях растущего ассортимента изделий и уменьшения серийности их выпуска, а также в условиях необходимости автоматизации различных производств модульный принцип построения станков может быть одним из эффективных путей при проектировании и изготовлении металлорежущих станков различных компоновок.

Литература

7. *Проектирование автоматизированных станков и комплексов: учебник в 2 т. / под ред. П.М.Чернянского. – 2-е изд., испр.— М.: издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014.*

8. Аверьянов О.И., Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, Москва, 1987. – 232 с.

9. *Стародубов В.С., «Модульный принцип построения металлорежущих станков с числовым программным управлением» // Вестник МГТУ, серия «Технология и технологические машины», 2012, с.68-74.*

10. *Васильев Г.Н., Ягопольский А.Г., Тремасов А.П., «Проблемы диагностики и обеспечения надежности металлорежущих станков» // СТИН. 2003 №7, с14-17.*

11. *Ягопольский А.Г., Волохов В.А., «Перспективные методы испытания металлорежущих станков» // Известия высших учебных заведений. Серия «Машиностроение», 2006 №4, с 44-47.*

12. *Ягопольский А.Г. «Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров перемещения суппортных узлов» // Вестник МГТУ, серия «Машиностроение», 2010, №2(79), с 91-105.*

13. *Ягопольский А.Г.,* Винников Д.А. Сравнительный анализ и обобщение способов коррекции температурных деформаций в металлорежущих станках // Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2017 .- № 1 .- С. 71 – 78.
14. *Ягопольский А.Г., Тимофеев П.Г.,* Роль и значение PDM-систем при разработке технологического оборудования // Известия высших учебных заведений. Машиностроение
15. 2016 .- № 10 .- С. 73 - 81
16. *Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю.* Мехатронный комплекс диагностических испытаний и прогнозирования надежности токарных станков // Машиностроение 2016 .- № 3 .- С. 49 - 55
17. Ягопольский А.Г., Крикунов Д.Э. Анализ коррекции тепловых деформаций в станках // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Серия "Машиностроение" 2014 .- № 5 .- С. 98 – 105

УДК 621.09

ДИАГНОСТИКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Виталий Андреевич Плетнев

Студент 4 курса
кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

Для металлорежущего оборудования, у которого основной критерий работоспособности – точность выполнения заданных функций, траектории формообразующих узлов (в частности – суппорта) становятся важнейшим источником информации о состоянии металлорежущего оборудования. Траектория перемещения узла – основной объект для измерения, оценки и анализа при программном испытании металлорежущего оборудования [1].

Содержание и характер диагностических процедур, глубина диагностирования, применяемые операции для обработки данных и другие этапы диагностики по параметрам траекторий поступательного движения суппортных узлов станков токарной группы зависят от объекта, предъявляемых к нему требований, аппаратурных возможностей и других факторов. Однако последовательность этапов, их назначение и роль в общем процессе оценки качества и параметрической надежности станка как результата диагностирования должны быть едиными для различных случаев, инвариантными к объекту диагностирования и отражать логику решения поставленной задачи. Поэтому может быть разработана типовая методика диагностирования по параметрам траекторий поступательного движения суппортных узлов станка, в качестве основы которой может рассматриваться алгоритм анализа траекторий формообразующей точки инструмента, закрепленного в суппорте (рис. 1).

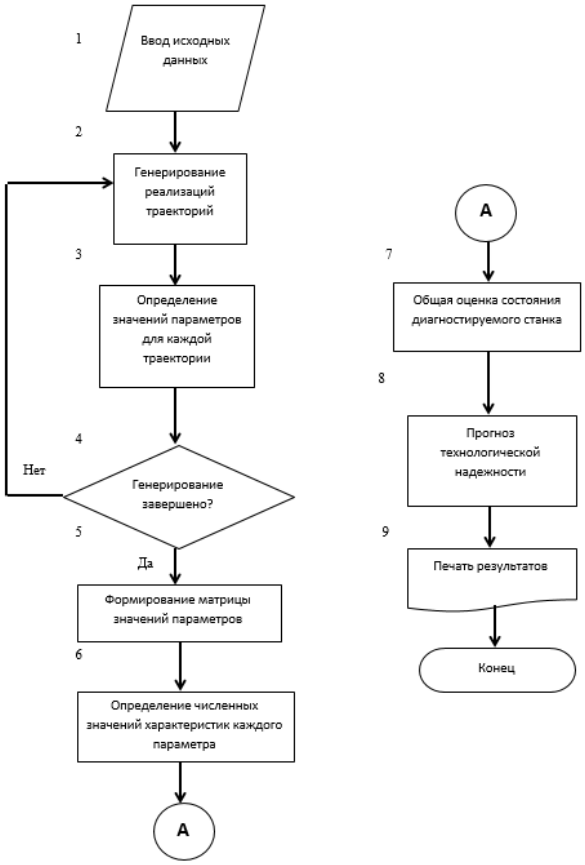


Рис. 1. Алгоритм анализа траекторий формообразующей точки инструмента, закрепленного в суппорте, по управляющим параметрам.

Формирование и ввод исходных данных предусматривает, прежде всего, задание номинальных характеристик объекта диагностирования, включая номенклатуру параметров траектории, используемую при выполнении конкретной задачи диагностирования. Исходные данные включают, в принципе, используемые в алгоритме (см. рис. 1), однако в дополнение к ним должны быть заданы:

- Диапазоны возможных режимов и условий эксплуатации станка (температура окружающей среды, внешние воздействия);
- Наиболее форсированные режимы и экономические режимы чистовой обработки, а при наличии информации – гистограммы используемых при эксплуатации станка параметров режимов, например, подач;
- Характеристики и требования, предъявляемые к лучшим образцам станков аналогичного назначения;
- Требования к качеству деталей, обрабатываемых на диагностируемом оборудовании, и вытекающим из этого требования к отдельным характеристикам диагностируемого оборудования;
- Предельно допустимые значения установленных параметров в соответствии с действующими стандартами, нормативами и требованиями заказчика.

Введенные данные должны однозначно задать условия реализации и параметры траектории формообразующего узла, на основе которых будет осуществлен сбор и последующая обработка диагностической информации.

Итоговые результаты диагностирования станка включают:

— Оценку состояния (в настоящем) с указанием запасов надежности по важнейшим выходным параметрам;
— Перечень причин отказов (потери работоспособности) станка в настоящем и ближайшем будущем;
— Список методов ликвидации дефектов, приведших к параметрическим отказам;
— Заключение о возможности использования станка в его зафиксированном техническом состоянии.

Литература

1. *Проников А.С.* Програмный метод испытания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение. – 1985. – 288 с.

2. *Ягопольский А.Г.,* Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров перемещения суппортных узлов // Вестник МГТУ, серия «Машиностроение». – 2010. – №2(79). – С.91 – 105.

3. *Комшин А.С.*, Информационно-метрологическое обеспечение эксплуатации объектов машиностроения/Стандарты и качество. – 2015. – №12. – С.48 – 52.

4. *Комшин А.С., Сырицкий А.Б.,* Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента//Мир измерений. – 2014. – №12. – С.3 – 9.

УДК 621.9.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНКА НАЕГО ДОЛГОВЕЧОСТЬ

Егор Иванович Титков

Студент 6 курса
Кафедра «Металлорежущие станки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Б.М. Дмитриев
доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки».

Долговечность станка один из базовых параметров станочной системы. В существующей системе знаний (ССЗ) определяющим процессом, ответственным за параметры долговечности, считается процесс изнашивания [1]. Такой подход справедлив для станка, которому предъявляются требования только по выполнению механической работы, связанной с производством формообразования детали. В данном случае это выполнение механической работы по образованию конфигурации детали. За время эксплуатации станок теряет свою работоспособность и в частности точность производимых деталей. При наступлении предельного состояния, производят дефектацию базовых поверхностей трения сопряжений. Предельное состояние металлорежущих станков регламентирует износ направляющих [2]. Цель таких исследований состоит в том, чтобы путём восстановления утраченных свойств восстановить утраченную работоспособность станка. По результатам назначают процедуру восстановления.

Однако предельное состояние станка, которому предъявляют требования не только конфигурации детали, но и качества производимых поверхностей, например, точности. Точность производимых поверхностей зависит не только от результатов изменения геометрии

поверхностей трения. Во время обработки на конструкцию станка воздействуют многообразные процессы, которые наряду с изнашиванием оказывают влияние на формирование погрешности обработки. Этот такие процессы как вибрация, релаксация напряжений, термические процессы, упругопластические деформации и т.д. эти процессы суммируясь изменяют параметры долговечности станка [3].

Цель разработки.

Процессы трения и изнашивания проводят к образованию термических процессов, которые совместно с выше названными способствуют возникновению термических процессов, способствующими изменению точности станка, соизмеримо с действием изнашивания. Оценка состояния станка, находящегося в предельном состоянии по параметрам изнашивания условие необходимое, но не достаточное. Достаточным следует признать оценку влияния термических процессов на предельное состояние станка.

Цель разработки состоит в том, чтобы определить показатель термического состояния конструкции, который совместно с изнашиванием характеризовал предельное состояние конструкции.

Анализ существующего положения оценки параметров долговечности станка.

В ССЗ в качестве термического показателя применяют такие показатели как частота вращения шпинделя, температура конструкции [4]. Указанные и другие предложения исходят из рассмотрения станка как механической системы для производства механической работы по образованию конфигурации детали. Частота вращения шпинделя весьма удобный параметр. Параметр сосредоточенный, легко управляемый не требующий при применении особых навыков. Однако это параметр не термидинамический и его действие зависит во многом от конструкции и не является однозначным в связи с термическим состоянием конструкции.

Температура конструкции, являясь параметром термодинамическим, является распределённым параметром по конструкции. Возникает вопрос о выборе точки на конструкции станка, в которой температура имела бы однозначную связь с показателями точности станка. Анализ существующих публикаций не обнаружил устойчивых методов определения таких точек.

Наличие влияния температуры на изменение долговечности станка, приводит к необходимости рассматривать станок как термодинамическую систему (ТДС) [5]. По определению ТДС представляет собой систему, состоящую из макротел, обменивающуюся энергией как с внешней средой, так и внутри, между составляющими частями. Обязательным условием ТДС является наличие изменения температуры в системе. Под это определение попадает станочная система как ТДС.

Станочная система обменивается электромагнитной энергией с внешней средой. Этот показатель является показателем, во-первых, термодинамическим, а во-вторых показателем сосредоточенным. Эти обстоятельства являются определяющими для характеристики термического состояния конструкции.

Внутреннее состояние конструкции станка, которое определяет состояние долговечности скрыто от внешнего наблюдателя. Для того, что бы определить количественное значение этого показателя, используют косвенный метод измерения. Косвенное измерение состоит в том, что измеряется не сама величина свойства, а другие величины, связанные с нею функционально. Количественное значение уровня свойства определяется как отношение реакции к возмущению.

Количественное значение величины свойства = значение величины реакции/значение величины воздействия

$$\xi = \frac{\delta}{P}\left[\frac{\text{мкм}}{\text{кВт}}\right],$$

где ξ - показатель термического свойства конструкции станка; δ -параметр реакции конструкции станка на термические воздействия. Как правило это параметры геометрической точности станка; P – мощность, потребляемая станком во время исследования.

При оценке величины свойства (ξ), на конструкцию подаётся термическое воздействие

(P) известной величины. Одновременно оценивается реакция конструкции на это воздействие (δ). В качестве реакции используют изменение параметров точности станка. Данный показатель ξ изменяется за время эксплуатации станка.

В ССЗ в качестве реакции используют параметры геометрической точности станка, которые в конечном итоге определяют точность обработки производимых деталей. Как правило, это параметры точности взаимного положения баз станка под инструмент и заготовку. Это пять параметров термического движения базы инструмента относительно базы под заготовку (три линейных величины по осям координат и две угловых координаты). Эти параметры представлены в линейно-угловых величинах и определяют точность станка. В качестве измерительного устройства в данном случае применимо несколько известных средств измерения. Это линейно-угловые средства измерения (индикаторы), измерения потребляемой мощности (ваттметр) и хронометр для синхронизации процесса измерения.

Для апробации сформулированных положений были исследованы состояния двух станков. Один станок 676 другой 676П. Оба станка имеют одинаковую конструкцию, примерно одного года выпуска (1972 и 1973), но имеют разный уровень точности изготовления. Параметры геометрической точности станков в начале эксплуатации отличаются в 1,6 раза. Более точные параметры у станка повышенной точности.

Исследованиям подвергались такие параметры геометрической точности станков как биение шпинделя. У станка нормальной точности биение в 2,3 раза больше чем у станка повышенной точности. Проверялась прямолинейность движения стола, которая зависит от изнашивания направляющих станков. Проверка показала, что как у одного станка, так и у другого составляет $3 \pm 1{,}0$ мкм.

Кроме этого была проедена работа по определению термического состояния конструкции обоих станков.

Для проведения данных исследований собрана установка, состоящая из измерительных линейных средств, измерения потребляемой мощности и хронометра (см. рис 1).

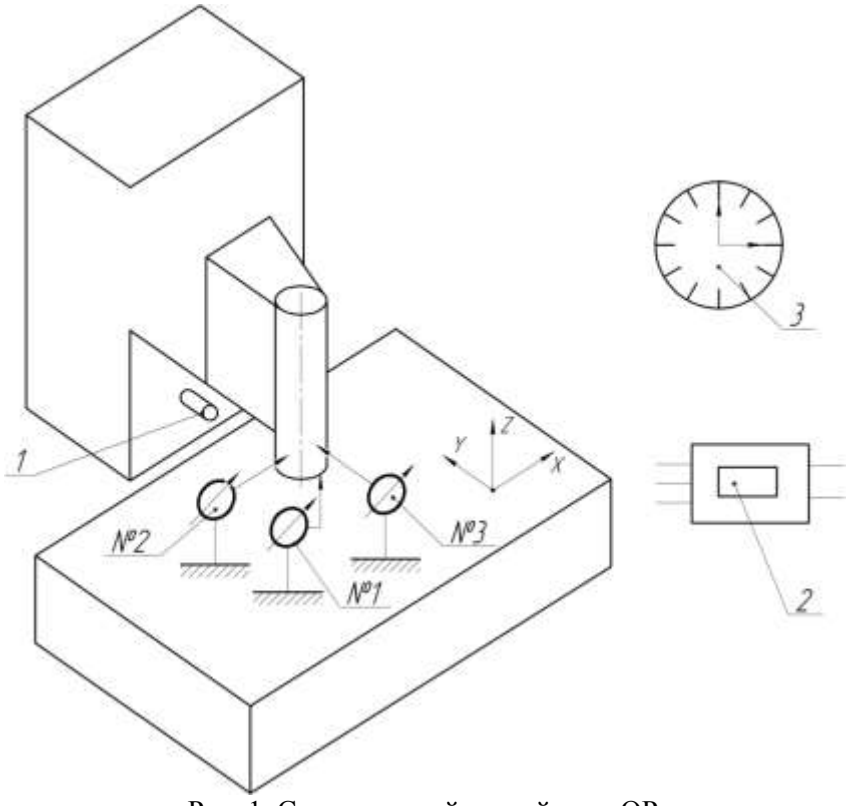


Рис. 1. Структура нейронной сети ОР

Линейные измерения осуществлялись по трём координатам (OX; OY; OZ). Оценку

производили на частоте вращения шпинделя 1665 мин$^{-1}$. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты оценки термического состояния станков.

Координатная ось	676	676П
OX	23,7	14,5
OY	3,8	0,4
OZ	9,8	3,1

Анализ полученных результатов.

Проведённые исследования показали, что оценка состояния конструкции по параметрам износа не обладает однозначностью. Это следует из того что биение шпинделя отличается, в то время как показатель износа базового сопряжения имеет одинаковое значение в пределах погрешности измерения.

Параметр ξ показывает существенную разницу в состоянии обоих станков. Поскольку показатель ξ термического свойства несущей системы станка показывает разницу в термическом состоянии конструкции, он может служить дополнительным показателем состояния станка во время эксплуатации. Разница составляет от 1,6 раза по оси OX, 3,2 по оси OZ и до 9,5 по оси OY.

Такая разница показывает на достаточно высокий уровень чувствительности данного показателя. Причём в исследованиях сохранены основные условия: одинаковая конструкция, одно время эксплуатации. Изменения зависят от того, что при изготовлении станка повышенной точности выполняется более квалифицированная работа, которая и обеспечивает увеличение долговечности станка.

Выводы:

1. Выполнение условий необходимых и достаточных обеспечивает требуемый уровень качества информации при оценке долговечности станка;
2.Параметр ξ свойства станка определяет уровень термического состояния конструкции при действии термических нагрузок во время эксплуатации станка;
3.Параметр термического состояния конструкции изменяется за время эксплуатации конструкции, ξi= f(t);
4.Параметр ξi (t), параметр индивидуальный для каждой конструкции станка и по осям координат.

Литература

1. *Проников А.С.* Износ и долговечность станков. – М.: Машгиз, 1957. – 276 с.: ил.
2. *Якобсон. М.О.* Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. /под ред. М.О. Якобсона. – М.: Машгиз, 1962. – 735 с.
3. *Проников А.С.* Надёжность машин. – М: Машиностроение, 1978. – 592 с.: ил.
4. *Поляков А. Н., Кравцов А. Г.* Прогнозирование тепловых характеристик станка в условиях непрерывной работы // Вестник машиностроения. – 2005. - №10. – С. 43-49. Библиогр.: с.49.
5. *Бер Г. Д.* Техническая термодинамика. – М.: Мир, 1977. – 518 с.

Секция II

Инструментальная техника и технологии

Председатель: **Древаль Алексей Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии» (МТ-2)

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

УДК 621.785.53:620.178.16

СОЗДАНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ СТРУКТУР НА ДЕТАЛЯХ ПАР ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ

Агаев Вусал Мубаризоглы

Магистр 2 года
кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Васильев С.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Плунжерные пары, насосов высокого давления работают в условиях больших нагрузок и интенсивного истирания. В процессе возвратно-поступательного движения плунжера и при малых зазорах происходят большие износы цилиндрических поверхностей плунжера и гильзы. Эти износы обусловливаются наличием коррозионно-активной средой, деформациями плунжера и гильзы боковыми силами, устранить которые полностью не представляется возможным.

Материалы плунжерных пар должны иметь высокую твердость и износостойкость в условиях повышенных давлений, иметь малый коэффициент линейного расширения, сохранять размеры и геометрическую форму, хорошо обрабатываться. Материалом для плунжера и втулки служат стали ШХ15 или ХВГ. Плунжерные пары подвергают закаливанию для повышения твердости поверхностного слоя. Твердость трущихся поверхностей плунжеров должна быть 45-55HRC . Направляющие цилиндрические поверхности гильзы и плунжера притирают совместно [1].

В данной работе рассматривается возможность замены материала плунжера на закаленный титановый сплав ВТ6, с поверхностным микрорельефом, полученным методом деформирующего резания. Титан относится к числу химически активных металлов, однако он обладает высокой коррозионной стойкостью, так как на его поверхности образуется стойкая пассивная пленка TiO_2, прочно связанная с основным металлом и исключающая его непосредственный контакт с коррозионной средой. Толщина этой пленки обычно достигает 5–6 нм. Благодаря оксидной пленке, титан и его сплавы не корродируют в атмосфере, в пресной и морской воде, устойчивы против кавитационной коррозии и коррозии под напряжением, а также в кислотах органического происхождения [2].

В паре с закаленной сталью ШХ15, твердость которой достигает 55HRC титановый сплав ВТ6 образует пару трения типа «мягкий – твердый» материалы. Закаленный титановый сплав ВТ6 твердостью 45 HRC, выступает в роли «мягкого» материала. Мягкий материал хорошо прирабатывается к твердому материалу, в результате чего увеличивается площадь фактического контакта, снижаются удельные нагрузки и исключаются задиры и заедание.

Литература

1«Насосы и насосные станции»/ В.Я. Карелин, А.В. Минаев, 1986
2«Материаловедение»/ Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов, 1986

УДК 621.791.1

ТЕПЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Евгений Евгеньевич Анисимов

Магистр 2 года,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Ю. Шачнев,
кандидат технических наук, технический директор ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»

Метод сварки трением с перемешиванием относится к твердофазным способам образования соединений материалов с использованием трения.Свариваемость конструкций из алюминиевых сплавов типа АМг2-АМг6 традиционными методами сварки плавлением изучена и подтверждена многолетним положительным опытом изготовления и эксплуатации космических кораблей и станций. Сведения по методам и режимам сварки перспективных высокопрочных алюминиевых сплавов большой толщины являются недостаточно изученными или полностью отсутствуют. Таким образом, их исследование является на сегодняшний день актуальной задачей.

На данный момент остро стоит проблема определения оптимального режима сварки для алюминиевых материалов толщиной 25-30мм, что важно для изготовления космического корабля нового поколения.

В предыдущей работе мной был сконструирован и испытан инструмент для сварки самого распространенного в ракетостроении материала АМг6, а так же выбран оптимальный режим сварки с точки зрения бездефектности шва.

Процесс сварки трением с перемешиванием характеризуется повышенным теплообразованием в зоне шва (до 500°С). При продолжительном воздействии на тонкостенную заготовку при сварке это может привести к тепловым деформациям ее элементов и как следствие - к дополнительным затратам на последующую механическую обработку. В данной научной работе проводится исследование выбранного режима сварки с точки зрения бездефектности детали в целом после сварки и определяется зависимостьвеличины деформации элементов конструкции исследуемых образцов от их толщины, расположения относительно сварного шваи толщины образцов между элементами при сварке трением с перемешиванием.

Разработаны и изготовлены образцы, наиболее приближенные к реальной детали и условиям обработки с учетом требований к плоским заготовкам для СТП на станке PowerStir 345C. Использовались несколько заготовок с различной толщиной ребер и дальностью их расположения от сварного шва, а так же различной толщиной заготовок между ребрами.

В ходе проведения эксперимента 2 заготовки сваривались между собой. Во всех случаях использовался один инструмент и неизменные отработанные режимы для толщины 25мм. Заготовки имеют габаритные размеры 200x200x25.

В качестве критерия деформации была использована величина отклонения от плоскостности тонкостенных ребер на заготовках, измеренная в различных точках на каждом ребре с помощью координатно-измерительной машины «DEAGLOBAL». Заготовки контролируются в одних и тех же точках как до, так и после сварки. Разница этих двух измерений будет являться величиной тепловых деформаций тонкостенного ребра на заготовке.

В результате проведения эксперимента будут получены зависимости отклонения от плоскостности тонкостенного элемента (мкм) на заготовке от его толщины, дальности расположения от сварного шва и толщины заготовки между ребрами. По полученным зависимостямвозможнобудет спрогнозировать такое соотношение толщины элемента и

дальности его расположения от зоны сварки, при котором его тепловая деформация будет укладываться в допуск на изготовление.

Литература

1. *Штрикман М.М.*Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор). Ч.3// Сварочное производство. 2007. №11.
2. *Покляцкий А.Г.*Характерные дефекты при сварке трением с перемешиванием тонколистовых алюминиевых сплавов и основные причины их образования// Автоматическая сварка. 2008. №6.
3. *Степанов В.В., Конкевич В.Ю., Фролов В.А.*Формирование соединений при трении по способу Friction Stir Welding // Технология легких сплавов.2007. №1.
4. *Третьяк Н.Г.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) // Автомат.сварка. – 2002. - №7.
5. *Клименко Ю.В.* «Способ сварки металлов трением». Авторское свидетельство № 195846 (приоритет от 09.11.65 г.).
6. *Махин И. Д.* «Отчет об отработке изготовления элементов конструкций ПТК НП», Королев, 2010г.
7. *Колтышев Р.Р., Шучев К.Г.* «Расчет температур при сварке трением с перемешиванием алюминиевых сплавов», Вестник ДГТУ №5, 2010г
8. *Резников А.Н., Резников Л.А.* Тепловые процессы в технологических системах. Машиностроение, 1990.

УДК 621.791.1

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Надежда Александровна Бондарь

Студент 6 курса, магистр 2 года,
кафедра «Машиностроительные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Ю. Шачнев,
кандидат технических наук, заместитель генерального директора по технической части ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»

Сварка трением перемешиванием (далее СТП) – Friction Stir Welding - метод получения неразъемных соединений, впервые предложенный в СССР [1] и реализованный в современном виде в 1991 г. [2] в Британском Институте сварки (The Welding Institute in UK - TWI).СТП относится к твердофазным способам образования соединений с использованием трения, что дает такие преимущества, как возможность соединения несвариваемых плавлением материалов и минимальные тепловые деформации в шве, что позволяет добиться 90% значений прочности на растяжение и усталостной прочностиот характеристикосновного материала.

Сварка ведется вращающимся нерасходуемым инструментом. Инструмент для сварки трением перемешиванием состоит из двух частей. Одна часть содержит наконечник, вторая заплечник. Это главные части инструмента, с помощью которых осуществляется сварка. Ось инструмента наклонена относительно нормали[3].

Непосредственное влияние на технологию формирования шва при СТП оказывает конструкция инструмента. На сегодняшний день по СТП получено более 500 патентов, из них практически 80% составляют патенты, выданные применительно к конфигурации самого инструмента. Однако, т.к. данный способ сварки был мало изучен, нет нормативной документации, однозначно определяющей рекомендации для геометрии инструмента, поэтому

существует необходимость проводить исследования по изменению каждого элемента геометрии инструмента для определения зависимостей и подбора рекомендаций.

В данном случае для исследования была выбрана такая часть инструмента, как заплечник. Необходимо выяснить, как влияют геометрические параметры заплечника на сварной шов. Заплечник имеет такие параметры, как диаметр, форма (вогнутый, плоский, выгнутый) и вид канавок.

Для исследования зависимостей между элементами геометрии инструмента будут проведены эксперименты по выявлению влияния заплечника, а именно:

- влияние диаметра заплечника в зависимости от начального диаметра наконечника на качество сварного шва и тепловые деформации,
- влияние вида канавок на заплечнике на качество сварного шва

Исследовать тепловые деформации было решено после неудачной сварки трением перемешиванием емкостей: при сварке вафельная структура емкости деформировалась – тонкие ребра и тонкое дно изогнулись, поэтому прототипом заготовок стали именно эти емкости.

Были разработаны чертежи похожих на емкость заготовок с учетом размеров приспособления, в которое они будут закрепляться во время сварки. Заготовки изготовлены из материала АМг6 размером 200х200х25 мм. На них выфрезерованы ребра толщиной 2 мм.

В эксперименте используется сборный инструмент, где на одной части инструмента находится наконечник, а на другой – заплечник. Для первой части эксперимента были сконструированы и изготовлены три вогнутых заплечника различных диаметров: 30, 40 и 50 мм с кольцевыми канавками. Для второй части эксперимента по исследованию влияния вида канавок на заплечнике на выходные параметры сварки был сконструирован и изготовлен один вогнутый заплечник диаметром 40 мм с двумя винтовыми канавками, выполненными по архимедовой спирали с шагом 5 мм, направление – левое, угол между заходами спиралей 180°.

Наконечник используется один: конусный с винтовой канавкой и тремя лысками. Направление винтовой канавки правое, шаг 1 мм, угол профиля канавки – 45°.

Для исследования тепловых деформаций при сварке трением перемешиванием необходимо измерить положения точек на ребрах до сварки и после сварки. Сначала на заготовках, потом на сваренных образцах на каждом ребре будут фиксироваться значения координат точек вдоль ребра с шагом 5 мм (по оси y) и с шагом 3 мм по высоте (по оси z). Всего получается 39 точек по длине ребра и 7 точек по высоте для одного ребра. Путем сравнения данных, полученных до и после сварки и расчетом их разницы по оси x (Δ), можно будет сделать вывод о степени тепловых деформаций и влиянии на них инструмента.

Контроль качества сварных швов будет производиться сначала путем визуального контроля, затем рентгенографического контроля.

Визуально можно определить:

- наличие грата на лицевой стороне шва,
- наличие непровара на лицевой стороне и в корне шва,
- наличие рыхлот, выходящих на поверхность,
- наличие раковин, выходящих на поверхность,
- постоянство ширины шва,
- величину занижения шва и др.

Литература

1. *Клименко Ю.В.* «Способ сварки металлов трением». Авторское свидетельство № 195846 (приоритет от 09.11.65 г.).
2. *Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Templesmith P., and Dawes C.J., G.B.* Patent Application No. 9125978.8, 1991.

3. *Ерофеев В.А.* Исследование физических явлений при воздействии инструмента на металл в процессе фрикционной сварки / *В.А. Ерофеев, Е.В. Карпухин, Р.В. Логвинов* // Сварка и диагностика. - 2010. - №1. - С. 27-33.

УДК 621.9-05

ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Сергей Сергеевич Боровков

Магистр1года
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Г. Васильев,
доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Обеспечение высокого качества поверхности у точных керамических деталей – сложная техническая задача. Наряду с низкой шероховатостью, ограничиваемой долями микрометров, специфическим требованием является отсутствие дефектов поверхности в виде сколов, микротрещин, микровыколов.

Совершенствование способов обработки керамики связано с изучением закономерностей сложного многофакторного процесса шлифования. Производительность, качество поверхности, износ и стойкость режущего инструмента, энергетические затраты зависят от марки керамического материала, характеристик алмазного инструмента, режимов и технологических особенностей оборудования.

Настоящая работа представляет собой анализ решений по обработки керамических материалов, и является комплексной научно-технической проблемой.

Решение данной проблемы сводится к выбору оборудования, режущего инструмента, оптимальных режимов резания, смазочно-охлаждающей технологической среды.

Литература

1. *ДушкоО.В*. Повышение эффективности абразивной и физико-технической обработки высокотвердых композиционных материалов для торцовых уплотнителей центробежных насосов /О.В. Душко, В.М. Шумячер, Д.О. Пушкарев //Российская школа по проблемам науки и технологий: Уро РАН, 2005.
2. *Зайцев Г.Н.*Определение стойкости кругов при алмазном шлифовании керамических пластин с постоянной силой / Г.Н. Зайцев, В.А. Иванов //Сверхтвердые материалы.
3. *Исаченков В.А.* Новые смазочно-охлаждающие жидкости для скоростного и силового шлифования //Российская школа по проблемам науки и технологий: Уро РАН, 2005.

УДК 621.9-05

ПРОГНОЗ РАСХОДА ИНСТРУМЕНТА

Александр Владимирович Виноградов

Магистр1года
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»

Расход металлорежущего инструмента позволяет определить количество инструмента, необходимого для обработки партии деталей. Для определения расхода инструмента предлагается использовать итерационную схему «предиктор»-«корректор» [1, 2].

Для запуска этой схемы, как и в любом из итерационных численных методов, необходимо задать начальные условия. В настоящей работе предлагается подход к расчёту таких начальных условий. Полученные расчётным путём данные являются прогнозом расхода металлорежущего инструмента.

В отличие от [3] выполнено прогнозирование расхода для одного инструмента, работающего в одной наладке, независимо от его сущности – режущий или вспомогательный, оснастка или штамп. При переходе к множественному рассмотрению всей номенклатуры инструмента, используется терминология и математический аппарат теории множеств [4].

В зависимости от классификации детали, возможны три подхода к построению прогноза расхода инструмента:

- Для детали, которая уже была в производстве.
- Для детали, которая подобна деталям, уже бывшим в производстве.
- Для детали, являющейся абсолютно новой для производства.

I. Если деталь периодически повторяется в производстве, то необходимы следующие данные для прогноза:

- количество Q израсходованного типоразмера инструмента на партию (множество) деталей;
- количество обработанных деталей по производственной программе;
- основное технологическое время использования данной модели инструмента.

По всем деталям находится основное суммарное время работы инструментаT и рассчитывается средняя скорость расхода инструмента v как отношение

$$v = Q/T \text{ (ед. инструмента / мин.)}$$

Для выбранной детали, при известном основном технологическом времени τ работы инструмента, прогноз Rрасхода составляет:

$$R = v \cdot \tau.$$

II. Для определения прогноза расхода инструмента на подобную деталь в одинаковых условиях обработки, необходимо знать:

- расход рассматриваемой модели инструмента на подобную деталь $R_п$.
- время работы рассматриваемой модели инструмента t_nна подобной детали.
- расчётное время работы рассматриваемой модели инструмента tна проектируемой детали.

Тогда, прогнозируемый расход Rна проектируемую деталь составит

$$R = R_п \cdot t/t_n.$$

III. В случае обработки абсолютно новой детали, предполагается использовать табличные данные стойкости инструмента для определения прогноза расхода инструмента.

Разработано большое число методов оценки работоспособности и ресурса инструментов, например, [5-7].

В результате, получившийся прогноз расхода модели инструмента *R*, вне зависимости от способа его получения, является начальным и подлежит дальнейшему уточнению с помощью итерационного алгоритма «предиктор»-«корректор».

Литература

1. Press William H., Teukolsky Saul A., Vetterling William T., Flannery Brian P. Numerical Recipes in Fortran 77: the Art of Scientific computing. SecondEdition.Vol.1, Cambridge, UniversityPress, 2007, 1262 p.
2. Достаточно общая теория управления: постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (1997 – 2003 гг.). СПб. 2003. 419 С. Режим доступа http://kobtv.narod.ru/files/Knigi-KOB/Dostatochno-obshchaya-teoriya-upravleniya.pdf (дата обращения 01.03.2017).
3. *Галиев З.Г.* Система инструментообеспечения цеха в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства. // Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2015: Машиностроительные технологии» 7-10 апреля 2015 г. М.: МГТУ имени Н.Э.Баумана, ООО «КванторФорм», 2015. С.18-20.
4. *Новиков Ф.А.*Дискретная математика: Учебник для вузов. 3-е изд. Стандарт третьего поколения. СПб.: Питер, 2017. 496 с.: ил.
5. *Виноградов Д.В.*Исследование и разработка методов оценки работоспособности быстрорежущих инструментов:дис. … канд. техн. наук. М.: МГТУ, 1995.237 с.
6. *Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В.*Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки// Наука и Образование: научное издание МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2014. № 12. С. 22–58.Режим доступа: http:// http://technomag.edu.ru/jour/article/view/815/817 (дата обращения 01.03.2017).DOI: 10.7463/1214.0749286
7. *Виноградов Д.В.*Оценка качества быстрорежущего инструмента// Известия вузов. Машиностроение. 1993. №№10-12. С.121-125.

УДК 621.914

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ УЧАСТКА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ.

Александр Сергеевич Жарков

Магистр 2 года,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им Н. Э. Баумана

Научные руководители: А. Е. Древаль,
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»
Л. А. Татарова,
начальник управления развития производственной системы ЗАО ЗЭМ РКК «Энергия»

При мелкосерийном производстве значительные затраты подготовительного-заключительного времени являются существенной проблемой. Величина подготовительно-заключительного времени обычно зависит от сложности наладки станка.

Относительную долю подготовительного-заключительного времени в общей трудоемкости можно сократить за счет выпуска большего объема партии деталей. В условиях мелкосерийного производства данный способ не эффективен.

Также долю подготовительно-заключительного времени можно сократить методом групповой обработки деталей. В основе метода лежит технологическая классификация заготовок, позволяющая сформировать группы деталей с последующей разработкой технологии групповой обработки с общим набором инструментов без переналадки или с минимальной переналадкой оборудования.

Метод групповой обработки заключается в том, что станок налаживают не на одну конкретную деталь, а на группу технологических подобных деталей, что дает возможность обрабатывать все детали данной группы с незначительной переналадкой, а, следовательно, с сокращением подготовительно-заключительного времени. Часть инструментов из разных групп также совпадает. В связи с этим существует возможность снизить затраты времени на наладочные процессы не только применением групповых инструментальных наладок, но и при помощи оптимального порядка запуска выделенных групп деталей.

Еще одним способом снижения подготовительно-заключительного времени является введение должности на предприятии наладчика инструмента. В связи с этим одной из задач данной научно-исследовательской работы была оценка целесообразности введения должности на предприятии сотрудника (наладчика инструмента), который будет осуществлять:

1) подбор инструментов, согласно технологическим процессам;
2) сборку инструментов и патронов;
3) настройку вылетов и измерение диаметров инструментов;
4) составление таблиц с корректорами;
5) доставку инструментов к станку.

Данные действия наладчик инструмента совершает во время работы станка, а, следовательно, время простоя оборудования сокращается.

Также для снижения себестоимости обработки рассмотрен вариант импортозамещения инструмента. Для этого проведен расчет себестоимости изготовления фрезы, аналога зарубежной, на предприятии.

Литература.

1. *Волчкевич И.Л.,* Рациональное использование станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства// Наука и образование. Электронный научно-техническое издание. #02, февраль 2012.
2. «Автоматизация подготовки многономенклатурного производства на основе разработки информационного обеспечения АСИО ГПС :Для корпус. Деталей»: автореферат - Смородина М.И., Москва,1998.
3. Классификатор ЕСКД. Классы 71,72, 73, 74, 75, 76. Иллюстрированный определитель деталей. – ВНИИНМАШ, ГНИЦВОК, ВПТИэлектро, Москва, 1986.
4. *Маталин А.А., Дашевский Т.Б., Княжицкий И.И*. Многооперационные станки.М.: "Машиностроение", 1974 год, 320 с.
5. *А.П.Шулепов, Н.Д.Проничев, О.С.Сурков* Определение технологической себестоимости операции по элементам затрат: Метод.указания / Самар. гос. унт; Самара, 2004. – 60с.
6. Расчет себестоимости механической обработки деталей по статьям калькуляции: Метод. указания к курсовой работе / Сам. Гос. Аэрокосм. ун-т; Сост. Мещеряков А.В.Самара, 2005. -39с
7. *Л.А. Одинцова*. Методические указания к выполнению организационно-экономической части дипломного проекта по специальности режущий инструмент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.

УДК 621.91.02

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОАППАРАТУРЫ.

Вадим Тимофеевич Земнухов

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»
Научный консультант: А. С. Виноградов,
начальник конструкторского бюро авиационной корпорации «Рубин».

Известно, что большая часть современной авиации использует гидропривод в качестве силового привода. Он имеет ряд достоинств: высокий КПД, достижение высоких усилий при относительно малых габаритах, высокое быстродействие привода и др. Источником давления являются аксиально-поршневые насосы. Одним из наиболее ответственных элементов в конструкции являются плунжерные отверстия. Кпоказателям шероховатости и точностипредъявляются высокие требования.

Цель данной работы – обеспечение стабильности точности и качества плунжерных отверстий технологическими методами.

Для выполнения поставленной цели проведен пооперационный анализ технологического процесса изготовления отверстия и инструментальной оснастки. Анализ показал, что:

1) Технологический процесс изготовления отверстия соответствуеттехнологической документации,
2) Точность и качество формируется на финишной операции,
3) Обеспечивается равномерность припуска,
4) Технологический процесс изготовленияинструмента, применяемого на финишной операции, соответствует технологической документации,
5) Конструктивные и геометрические параметры инструмента имеют незначительные отклонения от чертежа, что не должно оказать существенного влияния на его работу,
6) Инструмент работает с очень тонкими стружками, по толщине соизмеримыми с радиусом округления режущей кромки, что возможно приводит к выглаживанию обрабатываемой поверхности инструментом,
7) Дефекты, возникающие в отверстии после обработки, приводят к необходимости доводочных операций, что оказывает влияние на производительность.
8) Дефекты, приводящие к необходимости доработки отверстия, возникают на финишной операции развертывания на обратном ходе.

Установлены виды и возможные причины появления дефектов в отверстии.

По даннымконтроля 558 отверстий составлена статистика, по которой 29% изделий идёт на доработку. Рассчитана вероятность появления определенного дефекта в отверстии.

В ходе работы была углублено изучена операция развертывания на обратном ходе. Предложены возможные варианты решения проблемы появления дефектов в отверстиях.

Были разработаны и испытаны новая конструкция инструмента и плавающий патрон. Испытания показали, что использование плавающего патрона уменьшило разбивку отверстия на ~3 мкм. Использование новой конструкции инструмента уменьшило количество возникающих при обработке дефектов и уменьшило разбивку получаемого отверстия на ~2 мкм. В результате испытаний удалось избавиться от следующих дефектов: наволакивание, волна, риски продольные. При использовании плавающего патрона и новой конструкции

инструмента разбивка отверстия уменьшилась на ~4…5 мкм. При испытании плавающего патрона вместе с новой конструкцией инструмента на 162 отверстиях дефектов после обработки не наблюдалось.

Литература

1. *Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др*. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982.
2. *Прокофьев В. Н.* Аксиально-поршневой регулируемый привод. – М.: Машиностроение, 1969.
3. *Металин А. А.* Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, 1985.

УДК 621.993.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Александр Сергеевич Карельский

Студент шестого 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».

В настоящее время резьбофрезерование является наиболее прогрессивным методом получения резьбовых отверстий. В сравнении с метчиками, позволяет избежать проблем, возникающих при их эксплуатации, но требует числового программного управления, в связи со сложной траекторией движения.

Как и при классическом фрезеровании, в процессе резьбофрезеровании возникают ударные нагрузки, которые негативно сказываются на стойкости фрезы. Чтобы уменьшить эти нагрузки необходимо определить показатель равномерности резьбофрезерования. В отличие от классического фрезерования, определение коэффициентаравномерности фрезерования по известным формулам [1], является невозможным из-за неравномерного сечения срезаемого слоя по длине режущей кромки фрезы. В связи с этим было принято решение смоделировать срезаемый слой при резьбофрезеровании гребенчатой фрезой и исследовать его изменение в зависимости от угла наклона винтовой стружечной канавки и числа зубьев фрезы.

На рисунке 1,а представлена модель срезаемого слоя гребенчатой фрезы, представленная как совокупность резов однодисковой резьбовой фрезы [2,3], и передняя винтовая поверхность ее зуба. При вращении поверхности относительно оси фрезы имитировалось прохождение зуба через срезаемый слой. Модель была построена в программе AutodeskInventor 14(учебная версия).

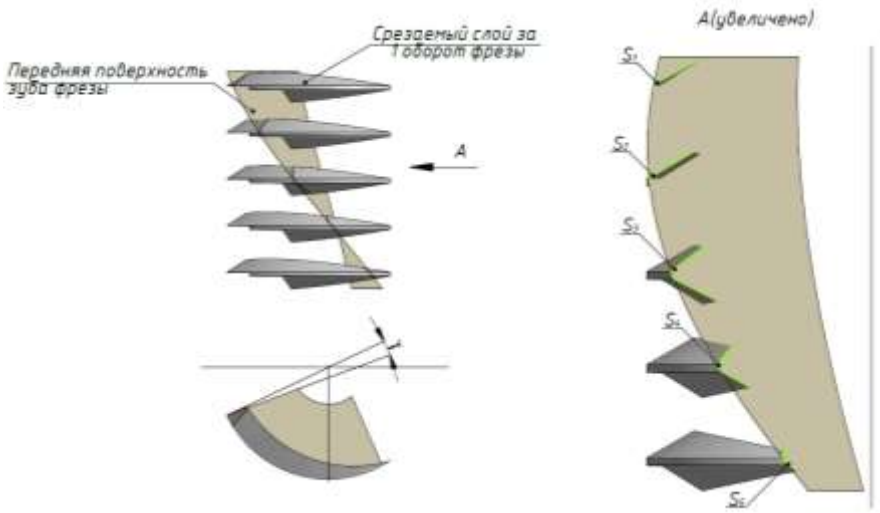


Рисунок 1 – Модель срезаемого слоя для гребенчатой резьбовой фрезы:
а. Рассечение срезаемого слоя передней поверхностью фрезы;
б. Площади контакта срезаемого слоя с фрезой.

В местах контакта передней поверхности со срезаемым слоем определялась величина площади для каждого профиля на фрезе (Рисунок 1,б). Для анализа равномерности фрезерования полученные значения суммировались и для суммарной контактной площади были построены графики зависимости от угла контакта фрезы с заготовкой для разных значений угла наклона винтовой стружечной канавки и числа зубьев.

Полученные зависимостипоказали, что существуют такие соотношения угла наклона винтовой стружечной канавки и числа зубьев фрезы, при которых разница минимального и максимального значения площади контакта за один оборот фрезы является минимальной, что также сказывается на уменьшении амплитуды колебания сил при резьбофрезеровании.

Литературы:

1. *Грановский, Г.И.* Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский // - М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

2. *Мальков, О.В.* Моделирование силы резания при резьбофрезеровании / *О.В. Мальков, И.М. Головко* // Будущее машиностроения России: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. - С.24 - 25.

3. *Головко, И.М.*Математическое моделирование срезаемого слоя при резьбофрезеровании/ *И.М. Головко, А.С. Карельский, О.В. Мальков*, // Будущее машиностроения России: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. - С.17 - 20.

УДК 620.186.5

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ирина Артуровна Кельциева

Магистр 2 года,
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»

Тенденцией современного машиностроения является снижение общей массы конструкций путем использования материалов с высокой удельной прочностью. Среди таких материалов особый интерес представляет применение титановых сплавов, ввиду их высоких показателей механической прочности, коррозионной стойкости и малой плотности. Однако широкое использование титана в машиностроительной промышленности ограничено неудовлетворительными антифрикционными свойствами. Высокая склонность титана к контактному схватыванию и налипанию обусловлена такими свойствами, как высокая пластичность и низкий модуль упругости.

Одним из способов повышения антифрикционных свойств титановых сплавов является химико-термическая обработка. Насыщение поверхностного слоя различными элементами (азот, кислород, углерод, бор и т.д.) приводит к упрочнению, увеличивая его твердость. Главный недостаток данного метода состоит в малой толщине упрочненного слоя (<160 мкм, в зависимости от параметров обработки).

В данной работе применён способ увеличения толщины упрочненного слоя на титановых сплавах путем ХТО после обработки методом деформирующего резания (ДР) [1,2]. Исследовалось строение и твердость полученных модифицированных упрочненных поверхностных структур.

Объекты исследования – титановые сплавы ВТ1-0 и ВТ6. Для получения оребренной структуры на поверхности образцов проводили обработку методом ДР. С целью определения влияния различных легирующих элементов на структуру и твердость модифицированной методом ДР поверхности, было проведено два вида ХТО: вакуумное азотирование и оксидирование.

Проведен анализ микроструктур поверхности образцов после обработки. Измерена микротвердость в различных зонах оребренной структуры.

По результатам данной работы установлено:

1. В зоне механо-термического воздействия при обработке методом ДР сплава ВТ6 были достигнуты температуры фазового перехода (α+β)-Ti→ β-Ti которые составили 882ºС.
2. Максимальная твердость 746 HV образца ВТ1-0 достигнута при оксидировании в течение 18 часов. Вакуумное азотирование оказало наименьший упрочняющий эффект – 421 HV. При этом толщина упрочненного слоя на боковых сторонах ребра составила 45 мкм.
3. Сравнение вакуумного азотирования и оксидирования позволило определить наиболее эффективный метод упрочнения ВТ6. Среднее значение твердости в прирезцовой зоне ребра после азотирования составило 466 HV, значение твердости после оксидирования – 684 HV. Толщина упрочненного слоя на боковых сторонах ребра после азотирования составила 10 мкм, после оксидирования – 23 мкм. Образование после вакуумного азотирования бедного по содержанию нитридов диффузионного слоя с малой толщиной и твердостью можно объяснить слабой активностью среды и низким давлением азота.

Литература
1. *Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г., Симонов В.Н., Хасянов М.А.* Способ упрочнения поверхности детали: пат. 2015202 РФ. 1994.
2. *Зубков Н.Н., Васильев С.Г.* Повышение износостойкости деталей пар трения скольжения на основе метода деформирующего резания // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 8. – С. 3-9.
3. *Зубков Н.Н.* Ремонт, восстановление и модернизация на основе метода деформирующего резания //Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2003. – № 10. – С. 7-11.

УДК 621.91.01

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Владислав Эдуардович Кириллов

Студент 6курса
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»

Данная работа посвящена разработке переносного стенда для контроля и измерения таких физических параметров процесса резания как:

- Среднеинтегральная температура в зоне резания.
- Скорость резания.
- Амплитудно-частотные характеристики процесса резания.
- Силы резания, действующие на резец.

Общая компоновка стенда изображена на рис1. Установка представляет собой совокупность различных средств автоматизированного контроля и измерения физических параметров резания, показания которых, собирает, обрабатывает и документирует одна управляющая программа разработанная в среде графического программирования LabViewv.11.0. компании NationalInstruments.

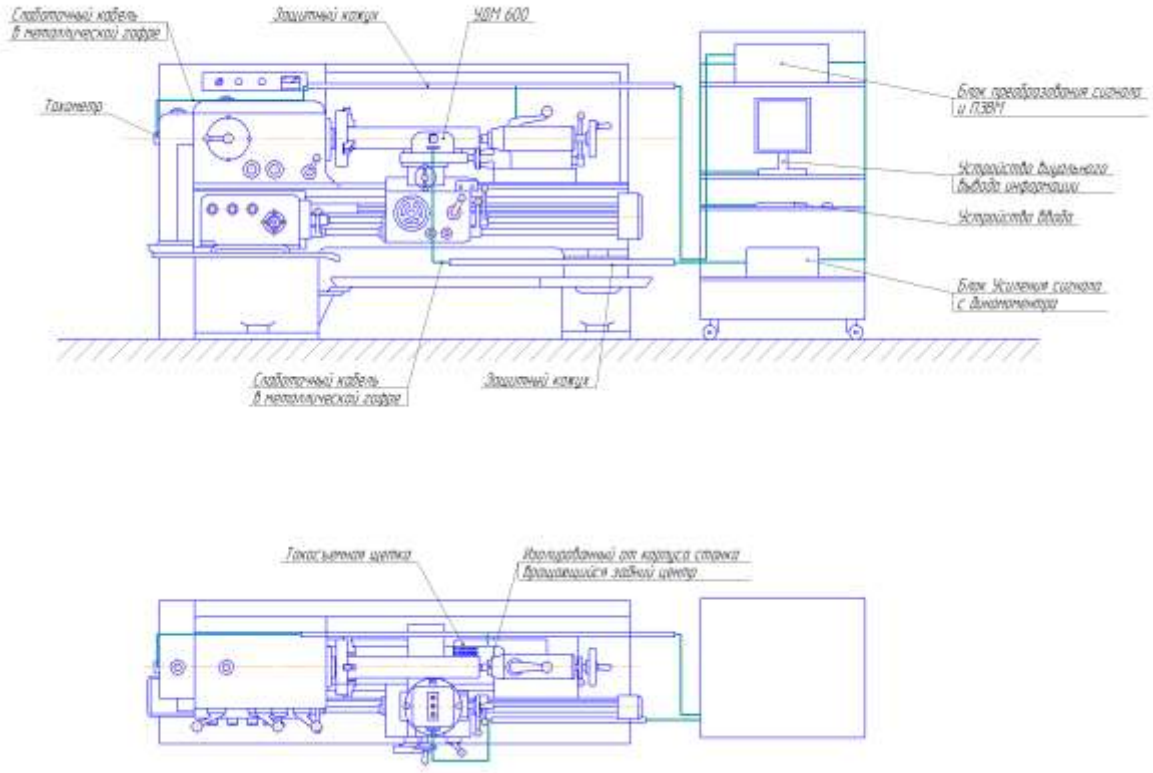


Рис1.Модельная схема стенда для контроля и измерения физических параметров процесса резания.

Для измерения силы резания, действующей на резец в процессе точения, используется установка на основе универсального динамометра УДМ-600, произведенного ВНИИИНСТРУМЕНТ, платы балансировочных сопротивлений, изготовленной самостоятельно, и платы усиления и мультиплексирования сигнала ЛА-УН16[1,2].

Для измерения амплитудно-частотных характеристик используется трех осевой пьезоэлектрический акселерометр Type 4524 компании BruelandKjer.

Измерение среднеинтегральной температуры в зоне резания происходит за счет регистрации уровня ТЭДС, возникающей у естественной термопары резец-заготовка вследствие обратного эффекта Зеебека.

Измерение скорости резания происходит за счет снятия напряжения с клемм тахометра, установленного в шпинделе станка.

Сигналы, принимаемые со средств контроля, являются аналоговыми и не поддаются автоматической компьютерной регистрации. Поэтому для решения данной проблемы, используются аналогово-цифровые преобразователи фирмы NationalInstruments-PXCI-1520 и USB9234, с помощью которых происходит оцифровка аналоговых сигналов, которые затем поступают в ПЭВМ с управляющей программой, разработанной в рамках исследования по созданию стенда. Данная программа имеет графический интерфейс, на котором в режиме реального времени отображаются в виде графиков и целочисленных выражений вышеописанные измеряемые параметры процесса резания. Разработанная программа так же автоматически документирует значения всех измеряемых величин.

В дальнейшем планируется изготовление стенда, его последующая тарировка и проведение испытаний для установления влияния режимов резания на физические параметры процесса резания на примере точения.

Литература
1. *Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В.*Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки// Наука и Образование: научное издание МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2014. № 12. С. 22–58.Режим доступа: http://http://technomag.edu.ru/jour/article/view/815/817 (дата обращения 01.03.2017).DOI: 10.7463/1214.0749286
2. *Виноградов Д.В., Древаль А.Е., Васильев С.Г.*Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении// Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн.2014. №09. С. 33-42. Режим доступа http://engbul.bmstu.ru/doc/727928.html (дата обращения 01.06.2016)
3. *Лоладзе Т. Н*. Износ режущего инструмента. М., Машгиз, 1958. 355 с 34,

УДК 621.9.042, 621.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ ПРИ ОРЕБРЕНИИ МЕДНЫХ ТРУБ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Владислав Владимирович Курилов

Студентбкурса,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

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

В рамках проектирования установки оребрения теплообменных труб методом деформирующего резания(ДР), актуальной является задача определения составляющих сил ДР[1,2]. Величина главной составляющей силы P_z необходима для расчёта момента и мощности главного привода, P_x- для расчета мощности устройства подачи, P_y- для расчёта усилия зажима центрирующей цанговой пневматической направляющей.

Измерения проводились на токарно-винторезном станке 16К20.Для измерения сил ДРиспользовался трехкомпонентный динамометр Kistler 9257B.

Варьировалась величинаподачи на оборот S_0, главный угол инструмента в плане φ,при глубине резания t=1мм и скорости резания V=7 м/мин. Геометрические параметры резца для ДР составляли $\gamma = 30°,\ \lambda = 35°, \alpha = 6°, \varphi_1 = 90°$.

При исследованиях использовалось 2 типа заточки: с заточенной вспомогательной задней поверхностью и без заточки вспомогательной задней поверхности, т.е. с нулевым вспомогательным задним углом.

Измеренная величинасоставляющей силы резания P_zнаходилась в диапазоне 300-1300Н при подачах от 0,6 до 1,4 мм/об.Значения осевой составляющей силы ДРP_xсоставили–(100-300) Н при этом она имела отрицательное значение, а радиальная составляющейP_yимела значенияв диапазоне -60-200 Н и она может менять свой знак. Данные согласуются с результатами, изложенными в [3].

Установка резца выше линии центров существенно повлияла на осевую P_x и радиальную P_y составляющие силы ДР, при этом главная составляющая сил резания P_z практически осталась неизменной. Радиальная составляющая P_y при установке выше линии центровменяет знак на положительный и составила 170-200 Н. Такое изменение составляющих P_y и P_x объясняется уменьшением главного заднего угла α при подъеме вершины резца, что увеличивает контактное давление на главную заднюю поверхность.Отрицательное значение составляющей силы P_x для всего диапазона наличия подачобусловлено большим наклоном передней поверхности относительно оси Y.

При уменьшении главного угла инструмента в плане φ с 30 до 27 ° радиальная составляющая силы ДР P_yустановится положительной, а осевая составляющая P_xуменьшается с -200 до -100 Н.При увеличении φ до 33° главная составляющая силы ДР P_z уменьшилась в среднем на 100Н.

Отсутствие заточки по вспомогательной задней поверхности (использование резца с нулевым значением вспомогательного заднего угла по сравнению с $\alpha_1 = 3°$) не оказало существенного влияния на составляющие силы ДР, что говорит о работоспособноститакого резца.В данном случае уменьшение трения по вспомогательной задней поверхности обеспечивается появлением кинематического вспомогательного заднего угла инструмента, имеющего движение подачи. Устранениеоперацию заточки одной из трех плоскостей, образующих режущий клин инструмента для ДР позволяет сократить время заточки резца практически на треть.

Литература

1.*Зубков Н.Н.* Оребрение труб теплообменных аппаратов подрезанием и отгибкой поверхностных слоев. //Новости теплоснабжения. 2005. № 4. С. 51-53.

2.*Зубков Н.Н.* Многофункциональная технология увеличения площади поверхности для повышения теплообменных и технологических свойств деталей.//Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2003. № 3. С. 41-46.

3.*Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г.*Особенности силового взаимодействия заготовки и инструмента для деформирующего резания // Вестник машиностроения. 2015. № 12. С. 68-71.

УДК 621.91.01

КОРРЕКТИРОВКА ПОДАЧИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Елизавета Юрьевна Матасова

Студент 2курса
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»

Подача при фрезеровании определяет такие важные показатели как производительность обработки и стойкость режущих инструментов. В нормативных документах и каталога фирм-производителей фрез приводятся рекомендованные значения подач для фрезерования плоскостей, которая определяется по величине толщины сечения срезаемого слоя *a*. Однако при обработке деталей с радиусными и криволинейными поверхностями толщина сечения срезаемого слоя отличается от случая обработки плоскости. Поэтому должна отличаться и назначаемая подача. Корректировка величины подачи для обработки криволинейных поверхностей позволит увеличить производительность обработки и стойкость фрез, поэтому данная тема исследования является актуальной.

В известных автору литературных источниках (например, [1-3]) рассматриваются различные аспекты фрезерования, однако корректировку подачи при фрезеровании криволинейных поверхностей уделено недостаточно внимания.

Известно, что при обработке плоскости толщина сечения срезаемого слоя может быть рассчитана по формуле:

$$a = R - \sqrt{S_z^2 + R^2 - 2S_z\sqrt{2RB - B^2}}\ .$$

где a – максимальная толщина сечения срезаемого слоя,R – радиус фрезы, S_z – подача на зуб, B– ширина фрезерования (измеренная по радиусу фрезы).

Для выпуклой (вогнутой) цилиндрической поверхности толщина сечению срезаемого слоя может быть рассчитана по уравнению:

$$a = R - \sqrt{S_{zr}^2 + R^2 - 2S_{zr}\sqrt{R^2 - \left[\left(R_d \pm R\right)\cos\frac{\varphi}{2} - \left(R_d \pm B\right)\cos\left(\psi - \frac{\varphi}{2}\right)\right]^2}}\ ,\ \text{где}$$

$\cos\frac{\varphi}{2} = \frac{\sqrt{4\left(R_d \pm R\right)^2 - S_z^2}}{2\left(R_d \pm R\right)}$; $\cos\left(\psi - \frac{\varphi}{2}\right) = \cos\psi\cos\frac{\varphi}{2} + \sin\psi\sin\frac{\varphi}{2}$; $\cos\psi = \frac{\left(R_d \pm R\right)^2 + \left(R_d \pm B\right)^2 - R^2}{2\left(R_d \pm R\right)\left(R_d \pm B\right)}$ (знак "+" для выпуклой поверхности, "–" – для вогнутой).

Расчет толщин сечения срезаемого слоя для фрезерования выпуклой$a_{вып}$ и вогнутой поверхностей $a_{вогн}$при различных условиях обработки позволило определить отношения $a_{вып}/a_{пл}$ и $a_{вогн}/a_{пл}$ и установить, что при увеличении диаметра фрезы, уменьшении радиуса кривизны обработанной поверхности и ширины фрезерования отношения $a_{вып}/a_{пл}$ и $a_{вогн}/a_{пл}$ увеличиваются, то есть требуется большая корректировка подачи для выравнивания толщин $a_{вып}$ и $a_{пл}$, $a_{вогн}$ и $a_{пл}$. Величина подачи на зуб мало влияет на указанные отношения.

Расчеты, выполненные для одного из наиболее опасных случаев позволили построить зависимости отношений $a_{вып}/a_{пл}$ и $a_{вогн}/a_{пл}$ от радиуса обработанной, представленную на рис.1.

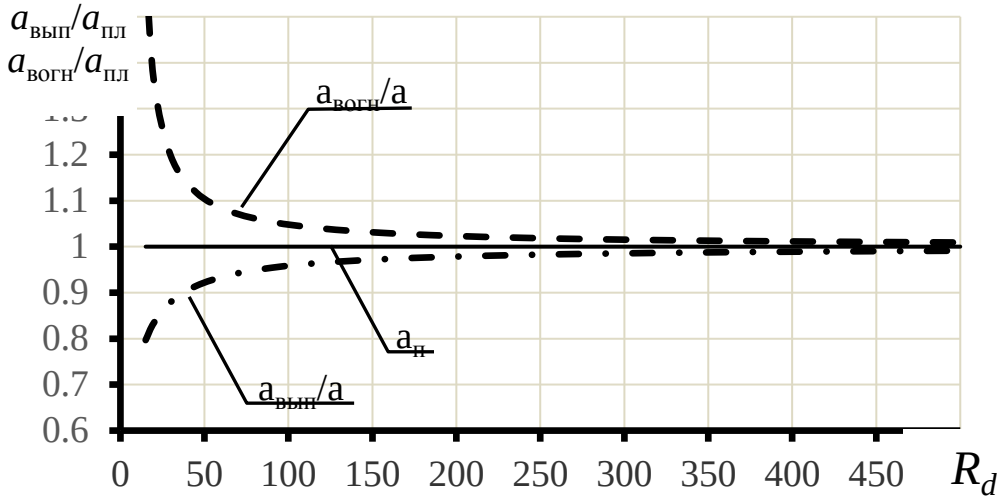


Рис. 1. Зависимость $a_{вып}/a_{пл}$ и $a_{вогн}/a_{пл}$от радиуса обработанной поверхности (R=10 мм, S_z=0,1 мм/зуб, B=2 мм)

Из рисунка следует, что толщина срезаемого слоя при фрезеровании выпуклой поверхности меньше, чем при обработке плоскости, поэтому следует увеличивать подачу на зуб (относительно фрезерования плоскости). Для рассмотренного случая корректировка подачи может достигать 20% при малых радиусах кривизны обработанной поверхности.

При фрезеровании вогнутой поверхности наблюдается противоположная картина – толщина сечения срезаемого слоя увеличивается и, следовательно, подачу следует уменьшать. Это снижение подачи может достигать 50%.

И для выпуклой и для вогнутой поверхности корректировку подачи можно не проводить при радиусе обработанной поверхности более 100 мм. Утолщение (утонение) сечения срезаемого слоя при этом не превышает 5%.

Литература

1. *Мальков О.В., Литвиненко А.В., Малькова Л.Д., Синцова И.В.* Исследование технологических возможностей планетарного фрезерования наружных и внутренних цилиндрических поверхностей // Вестник МГТУ. Машиностроение. 2007. №1. С. 86-98.
2.*Потапова М.С., Виноградов Д.В.*Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой// Наука и образование: научное издание МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2015. № 6. С.42-55. DOI:10.7463/0615.0778064
3. *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 62-1/-9

НОВЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКА В КОНСТРУКЦИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Лев Вячеславович Митясов

Магистр 1 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: рассмотреть варианты частичной и полной замены конструкции модуля МКС на углепластик, а так же выявить возможные трудности при реализации этой задачи.

Углепластик – это композиционный многослойный материал, представляющий собой полотно из углеродных волокон в оболочке из термореактивных полимерных (чаще эпоксидных) смол.

Таблица 1 – Основные свойства углепластика

Материал	Плотность, кг/м^3	Прочность при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Удельная прочность, $e{\cdot}10^3$,км	Удельный модуль, $E{\cdot}10^6$, км
Углепластик	1450–1600	780–1800	120–130	53–112	9–20

На данный момент углепластик активно используется в таких сферах как: авиа-космическая промышленность и автомобилестроение. Благодаря своим свойствам с каждым годом его роль в промышленности возрастает.

Использование данного материала в ракетно-космической промышленности может уменьшить массу изделия, а так же увеличить его прочность, что положительно скажется на технических характеристиках. Но имеется ряд не решенных проблем:

1. Использование углепластика подразумевает системный перерасчет конструкции;
2. Невозможность или ограниченность применения классических методов сборки, таких как сварка, склейка и т.д. Из-за различных технологических свойств материалов присутствуют проблемы в соединениях: металл-углепластик;
3. Трудности в обработке и получении заготовок.

Даются основные направления работ для постановки задач и последующего разрешения выявленных проблем.

Литература

1. *А. Е. Раскутин, А. В. Хрульков, Р. И. Гирш* ВИАМ «Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций»;

2. *Б.И.» Молчанов М.М. Гудимов,* ВИАМ «Свойствауглепластикови области их применения, ВИАМ/1996-202215;
3. *Дж. Любин*, Справочник по композиционным материалам. Книга 1, стр.260;
4. *Hideaki Arisawa; Satoru Akama; Haruhiko Niitani*, High-Performance Cutting and Grinding Technology for CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.49 No.3 (September 2012).

УДК 721.9.048.4

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ВТ5

Антон Петрович Наумов

Магистр 2 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»

Цельюпредставленной работы является повышение производительности электроэрозионной обработки (ЭЭО) деталей из титанового сплава ВТ5. Объектом исследований данной работы является процесс ЭЭО титанового сплава ВТ5.В настоящее время в ракетно-космической технике широко используются детали из титанового сплава ВТ5, содержащие различного рода конструктивные особенности. Одним из широко применяемых методов при их изготовлении является ЭЭО. Однако производительность ЭЭО таких деталей часто неудовлетворительна. Ошибки в назначении режимов обработки приводят к нестабильности процесса и существенному увеличению времени изготовления деталей. На практике рациональные режимы ЭЭО материалов, как правило, назначают по эмпирическим зависимостям. Однако эти зависимости установлены только для небольшой номенклатуры традиционных для ЭЭО материалов (это наиболее широко используемые инструментальные и конструкционные стали,медь и некоторые другие). Расчетные зависимости для назначения рациональных режимов ЭЭО многих материалов, в том числе титанового сплава ВТ5, еще либо не разработаны, либо нуждаются в уточнении и дополнении. Поэтому проблема определения рациональных режимовЭЭО титанового сплава ВТ5 весьма актуальна.

Для определения рациональных режимов процесса ЭЭО деталейиз титанового сплава ВТ5 необходимо исследовать обрабатываемость указанного материала. Для оценки обрабатываемостииспользовались результаты решения задачи Стефана о перемещении границы фазового превращения материала. Задача Стефана для двухфазной системы описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка и позволяет определить зависимость глубины проплавления материала от времени действия теплового источника при заданных физических свойствах обрабатываемого материала и плотности теплового потока.

Для решения задачи Стефана использовалось компьютерное приложение Erosion, разработанное при непосредственном участии кафедры МТ2 МГТУ им. Н.Э. Баумана, позволяющее получить следующие зависимости:

1) глубины проплавления титанового сплава ВТ5 от времени действия теплового потока (импульса тока);

2) минимальной длительности импульса теплового источника, необходимой для начала плавления материала, от плотности теплового потока.

Для решения задачи Стефана требуется знать определенный набор теплофизических параметров исследуемого материала. Следует отметить, что информации о некоторых необходимых параметрах для титанового сплава ВТ5 в справочной литературе не найдено. Поэтому был произведен сбор теплофизических параметров элементов, входящих в состав рассматриваемого сплава с последующим усреднением данных по каждому рассматриваемому параметру. После этого на основе полученных данных был произведен расчет необходимых параметров для рассматриваемого сплава. Также для получения теплофизических параметров титанового сплава ВТ5 использовались методы с применением аппроксимации и экстраполяции, сравнения с аналогами.

После решения задачи Стефана были определены следующие зависимости:

1) минимально необходимой для начала обработки длительности импульсовот плотности действующего теплового потока;

2) максимальной длительности импульса, при превышении которой перестает происходить увеличение съема материала, от плотности теплового потока;

3) эффективной длительности импульса, при которой можно достичь максимальной производительности, от плотности теплового потока;

4)максимальной глубины проплавления и соответствующей длительности импульса от плотности теплового потока.

В настоящее время распределение энергии электрического импульса между катодом, анодом и каналом разряда аналитическими методами определить невозможно. В связи с этим, не установлена корреляция между режимами обработки и тепловым потоком, возникающим вследствие действия электрического разряда.

Поэтому, для определения рациональных режимов ЭЭО титанового сплава ВТ5 была установлена связь между обрабатываемостью этого сплава и материалами, для которых рациональные режимы определены. Материалы, имеющие одинаковую обрабатываемость при определенных интервалах тепловых потоков, т.е. имеющие совпадающие или близкие кривые зависимостей глубины проплавления от времени действия импульса при определенной плотности теплового потока, следует обрабатывать на одних и тех же режимах. Следует отметить, что полученные результаты являются теоретическими и требуют дальнейших экспериментальных подтверждений и уточнений.

Выводы

Полученные результаты позволяют существенно сократить объем экспериментальных исследований проводимых при назначении оптимальных режимов обработки рассматриваемого сплава ВТ5. Также, в результате проведенной работы были получены теоретические зависимости, позволяющие более точно назначать режимы обработки титанового сплава ВТ5 и тем самым повысить производительность ЭЭО.

Литература

1. *Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи: пер. с англ. М.: Мир, 1983.
2. *Зиновьев В.Е.* Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справ.изд., М.: «Металлургия», 1989. 384 с.
3. *В.С. Чиркин.* Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Атомиздат, Москва, 1968.
4. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1285
5. *P.D. Desai*. Thermodynamic properties of Selected Binary Aluminium Alloy Systems. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 16, No.1, 1987.
6. http://asm.matweb.com
7. ASM Handbook. Vol. 3. Alloy Phase Diagrams. ASM International. The Materials Information Society.

8. *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.

УДК 621.91.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ КАНАВОЧНЫХ И ОТРЕЗНЫХ РЕЗЦОВ

Даниил Павлович Пелевин

Студент 6 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»

Отрезка резцами является распространенной операцией, как в заготовительном производстве, так и в технологических процессах изготовления деталей машин. Отрезные инструменты работают в особо тяжелых условиях, которые объясняются: во-первых, недостаточной жесткостью режущей части инструмента; во-вторых, переменным значением скорости резания, вызывающим колебание температуры резания, приводящее к тепловому напряжению твердого сплава и повышению интенсивности его хрупкого разрушения; в-третьих, трением между стенками прорезаемой канавки и стружкой, затрудняющим ее удаление из зоны резания; в- четвертых, стружкообразованием, происходящим в стесненных условиях. Расход данных резцов большой по сравнению с остальными резцами. Поэтому повышение прочности режущей части отрезных и канавочных резцов является актуальной задачей. В настоящее время существует ряд путей решения этой проблемы, одним из которых является оптимизация геометрических параметров режущей части инструмента, снижающая силы резания, улучшающая условия схода стружки.

Целью данной работы является оценка степени влияния формы передней поверхности на динамические характеристики резания в зависимости от разных геометрических параметров режущей части, подач и скоростейрезания.

Проведены эксперименты по определению сил резания Py и Pz при прорезании канавок отрезным резцом компании SandvikCoromant, имеющим криволинейную переднею поверхность, при варьировании подачи в условиях несвободного и свободного резания при помощи динамометрического стенда кафедры МТ2.

В результате получили разницу между силой Pz свободного резания и не свободного в 200 Н, которая образовалась за счет изгибания стружки внутри паза, приводящая к уменьшению сил терния боковых поверхностей стружки о боковые поверхности паза и вероятности защемления стружки в пазу.

Проводятся опыты с резцами, имеющими плоскую заточку передней поверхности пластины и с пластинами, различную форму передней поверхности.

Литература

1. *Моховиков А.А.* Повышение прочности отрезных и канавочных резцов за счет равнопрочной формы лезвия: дис… канд. техн. наук. Томск., 2004. 172 с.
2. *Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В.* Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2014, №12. – 52 с.

3. *Грановский Г.И., Грановский В.Г.*, Резание металлов: Учебник для машиностроительных ВУЗОВ – М.: Высшая школа – 1985 год – 304с.

УДК 621.9.022.2

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА РЕЗЬБОВОЙ ФРЕЗЫ В T-FLEX CAD

Роман Владимирович Силаев

Магистр 2 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»

В машиностроении широко используются резьбовые соединения. Обработка резьб – трудоемкая и ответственная операция. Из существующих способов обработки резьбрезьбофрезерование является наиболее высокопроизводительным, в связи с чем оно применяется в серийном производстве.

Сокращение времени на технологическую подготовку производства является ключевой задачей, стоящей перед многими предприятиями и разработчиками. Стремятся снизить время на технологическую подготовку производства (ТПП), за счёт максимальной автоматизации проектирования изделий и технологических процессов их изготовления. Снизить время на ТПП помогает внедрение систем автоматизированного проектирования для решения различных задач. В то же время, эти системы не успевают удовлетворять растущие потребности пользователей, в связи с чем и актуален вопрос их своевременной модернизации и обновления.

Целью работы является создание параметризованной трехмерной модели резьбовой гребенчатой фрезы и получение на её основе параметризованного рабочего чертежа наперед заданного вида. В ходе работы был составлен алгоритм построения 3D-модели, описаны основные закономерности и методика построения. Основные параметры для проектирования резьбофрезы были вынесены отдельно и представлены в виде таблицы. На основе этих параметров задавались переменные и зависимости, которые эти переменные включают.

Работа по созданию трехмерной модели и рабочего чертежа проводилась в системе T-FlexCAD. Были изучены особенности программы, функционал и возможность связи программы с источниками внешних данных. Составлен алгоритм действий по проектированию концевой гребенчатой резьбовой фрезы. Также составлен список параметров, необходимых для построения полностью параметризованной трехмерной модели и чертежа. В торцевом сечении канавка условно задана двумя прямыми и дугой, сопрягающей эти два отрезка.

Таким образом, были проведены работы по созданию трехмерной параметризованной модели резьбовой фрезы в T-FlexCAD и создан параметрический рабочий чертеж (рисунок 1) на основе модели, который полностью корректно перестраивается при различных значениях количества зубьев. В работе подобраны оптимальные связи переменных и последовательность действий для построения модели и рабочего чертежа.

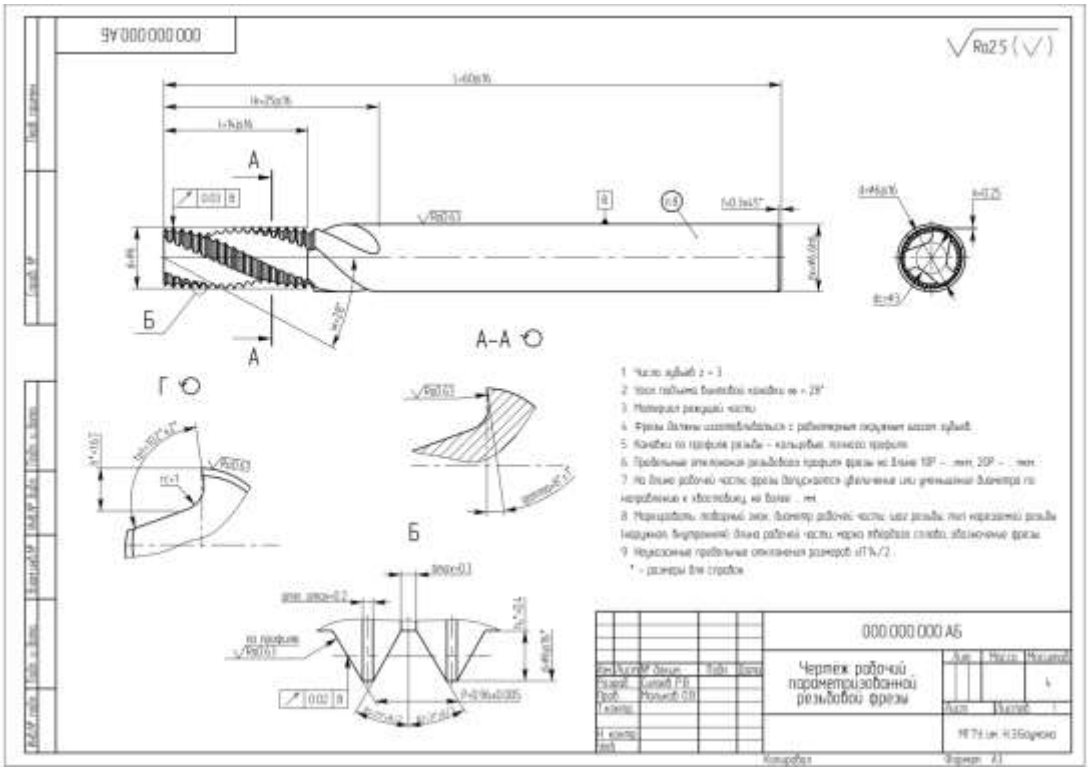


Рисунок 1. Рабочий чертёж резьбовой гребенчатой фрезы.

Выводы:

- разработан алгоритм проектирования гребенчатой резьбовой фрезыи в программной среде T-FlexCADразработанаее параметризованная 3D-модель;

- на основе разработанной модели резьбовой фрезы получены параметризованные рабочие чертежи фрез с различными параметрами.

Литература

Мальков О.В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2014. № 3. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/702743.html (дата обращения 01.03.2014). DOI: 10.7463/0314.0702743.

*Мальков О.В., Малькова Л.Д.*Разработка математической модели углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2014. № 4. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/707227.html (дата обращения 01.04.2014). DOI: 10.7463/0414.0707227.

Левицкий М.Я.: «Основы резьбофрезерования». Справочник – Киев.: Машгиз – 1953. – с.40-50, 155 с.

«Основы T-FLEXCAD: двухмерное проектирование и черчение» - Руководство пользователя. ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ». Москва, 2014 г. 895 с.

«Основы T-FLEXCAD: трёхмерное моделирование» - Руководство пользователя. ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ». Москва, 2014 г. 857 с.

УДК 621.993.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Юрий Алексеевич Солдатов, Александр Сергеевич Карельский

Студенты 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»

Резьбофрезерование до сих пор является мало изученным методом получения резьбы, обладая при этом существенными преимуществами в сравнении с другими способами: дискретностью стружки при обработке, которая позволяет с высокой производительностью обрабатывать пластичные материалы,отсутствием риска застревания инструмента в готовом отверстии при поломке, что может произойти в случае с метчиком ивозможностью обработки одним инструментом широкого диапазона диаметров отверстий с одинаковым шагом.

Гребенчатая резьбовая фреза с винтовыми стружечными канавками представляет собой совокупность дисков с общей осью, одинаковым числом зубьев, повернутых друг относительно друга на угол соответствующий углу наклона канавки. Поэтому решено использовать в качестве модели одного режущего профиля резьбовой резец с различным углом наклона передней поверхности, соответствующим углу наклона канавки.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований по измерению силы резания при моделировании резьбофрезерования резцом и обработка результатов эксперимента. Изменяемые параметры: скорость, подача, шаг, диаметры отверстия и фрезы и угол подъема стружечной канавки. Эксперимент проводится на координатно-расточном станке с ЧПУ 24К40СФ4. Силы измеряются с помощью динамометра 9257В фирмы Kistler.

Для проведения эксперимента изготовлены заготовки из стали 45А, твердостью 185 НВ, в которых выполнены полуотверстия под резьбу, резцы изготовлены из прутка ВК10 диаметром 6 мм и закреплены в регулируемой борштанге, составлен план проведения эксперимента, с точными значениями изменяемых параметров, написаны программы для ЧПУ станка и составлены схема и уравнения для перевода ортогональных составляющих силы резания фрезерования в радиальную, осевую и касательную составляющие силы резания.

Для расчета радиальной и касательной составляющих силы резания при фрезеровании разработана формула, которая учитывает максимальное значение силы на каждом обороте и местоположение фрезы. Планируется построить зависимость радиальной и касательной составляющих силы от вышеназванных параметров.

Выводы:

1. Составлен план экспериментального исследования по определению силы резания при моделировании резьбофрезерования резцом.

2. Изготовлены заготовки и резцы, проведена обработка, получены ортогональные составляющие силы резания.

3. Составлена методика обработки полученных данных.

Литература

1. *Бобров В.Ф.*Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М.: Машгиз, 1962. – 152 с.

2. *Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.

3. *Мальков О.В., Головко И.М.* Экспериментальное определение модели силы резания при резьбонарезании. // Инновации в машиностроении: сборник трудов Международной молодежное конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. – С. 73-77.
4. *Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В.* Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки // Наука и Образование: научное издание МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2014. № 12. С. 22–58. Режим доступа: http:// http://technomag.edu.ru/jour/article/view/815/817 (дата обращения 01.03.2017). DOI: 10.7463/1214.0749286.

УДК621.923.7

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАТОЧКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ РЕЗЦОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Сергей Николаевич Титов

Магистр 2 года,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Грубый С.В.,
профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Прецизионные резцы из природного алмаза используют для обработки различных деталей, имеющих зеркальные поверхности: элементы лазерной оптики, ювелирные изделия, контактные линзы и др. [1].Резцами из плотноупакованного нитрида бора (DBN) обрабатывают детали топливно-регулирующей аппаратуры двигателей, гидравлических моторов и насосов, аэростатические подшипники, детали буровых и погружных насосов, блоки цилиндров, гильзы и т.д. Все эти детали изготавливают из труднообрабатываемых конструкционных материалов, в том числе сталей, закалённых до твёрдости 60-66 HRC [2].

В процессе эксплуатации прецизионные резцы изнашиваются, что приводит к изменению первоначальных показателей, характеризующих качество заточки: увеличивается площадка износа по задней поверхности лезвия, происходит разрушение режущей кромки, увеличивается радиус округления кромки и др. [3, 4]. К качеству заточки лезвия предъявляются высокие требования:отклонение от круглости радиусной части находится в пределах 0,1÷0,2 мкм;шероховатость по задней грани составляет Rz 0,05 мкм;отсутствуют сколы на режущей кромке, видимые при 500 кратном увеличении.

Для обеспечения указанных требований у заточного станка биения шпинделя должны быть на уровне 0,05 мкм и должны отсутствовать вибрации основных узлов (амплитуда колебаний не выше 0,05мкм).

Для заточки прецизионных резцов был использован сверхточный заточной станок.

Станок имеет аэростатические опоры в основных формообразующих узлах, каретке продольной и поперечной подачи, инструментальном шпинделе, поворотном столе; в шпиндельном узле и поворотном столе используются синхронные, безвибрационные моторы. В качестве привода каретки установлен пневмогидравлический усилитель. Станина станка установлена на виброизолирующих опорах, которые обеспечивают её изоляцию от внешних колебаний на частотах свыше 5 Гц.

Для резца из DBN заточка проведена по передней и задней поверхности резца, параллельно осуществляя «закатку» по радиусу. Для алмазного резца проведена заточка только по передней поверхности. В качестве заточного инструмента использовались:алмазныйшлифовальный круг АСМ 20/14 100 В3-16 ГОСТ16172-90 для

заточной операции и чугунный дискØ100 мм, шаржируемый алмазной пастой с размером зерна 2÷3 мкм для доводочной операции.

Режимы призаточке передней и задней поверхностей резцов составили: частота вращения круга$n_{кр}$ = 2000 об/мин, частота вращения стола$n_{ст}$= 2 об/мин, глубинаt=0,003мм, скорость шлифования$V_{кр} = 11$ м/с, продольная подача $S_{пр}$= 60 мм/мин. Режимы при доводке не меняются.Последний проход выполняется без припуска (выглаживающий). Суммарное время заточки и доводки одного резца по передней и задней поверхности составляет $\sum t_0 = 70{,}1$ мин.

Контроль качества заточкирезцов проведенна конфокальном микроскопе μSurf NanoFocusAG. Данные по заточке приведены для одного резца из DBN и алмаза.

По результатам контроля были получены следующие данные:

- для резца из DBN шероховатостьпередней поверхности - Ra 0,003 мкм, Rz 0,022 мкм, задней поверхности - Ra 0,008 мкм, Rz 0,048 мкм, радиус закругления вершины резца R=0,169 мм;
- для алмазного резца шероховатость передней поверхности Ra 0,003 мкм, Rz 0,020 мкм.

Заточенный прецизионный резец из алмаза использован прифрезерованииоднозубой фрезерной головкой заготовок типа пластин из дигидроортофосфата калия (KDP) с размерами 40x25x10 (мм) и дисков из германия (Ge) с размерами Ø38,1 мм, h=4 мм, прецизионный резец из DBNприменен при расточке аэростатического подшипника.

Литература

1. *Лапшин В.В., Грубый С.В.* Разработка технологии и исследование качества заточки прецизионных резцов из сверхтвердых материалов/Наука и образование. Электронноенаучно-техническоеиздание. - 2012. - №9. DOI: 10.7463/0912.02398.
2. *Грубый С.В., Лапшин В.В.* Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора// Наука и образование. Электронноенаучно-техническоеиздание. - 2012. - №6. DOI: 10.7463/0612.0423622.
3. *GeYingfei, XuJiuhua, YangHui.* Diamond tools wear and their applicability when ultra-precision turning of SiCp/2009Al matrix composite //Wear. 2010. Vol. 269, no. 11-12. P. 699-708. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2009.09.002
4. *Lane B.M., Shi M., Dow T.A.,* Scattergood R. Diamond tool wear machining Al6061 and 1215 steel // Wear. 2010. No. 268, no. 11-12. P. 1434-1441. DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2010.02.019

УДК 620.179.119

КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДАМИ ТРИБОДИАГНОСТИКИ

Генрик Самвелович Хачатрян

Магистр 2 года,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: С.В. Грубый,
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Основная цель работы заключается в обобщении результатов комплексного подхода к трибодиагностике и локализации дефектов шестерни коробки приводов авиационного двигателя на основе определения диагностических признаков ее изнашивания, исследования диагностического материала и продуктов износа.

Объектом контроля в данной работе является коробка приводов авиационного двигателя, а объектом диагностических исследований - узлы и поверхности трения, входящие в конструкцию деталей и агрегатов. Наиболее ответственными узлами коробки приводов

являются зубчатые колеса, поэтому объектами комплексных исследований являлись поверхности трения и продукты их износа.

При трибодиагностике узлов трения авиационного двигателя исследования в основном проведена методами спектрального, феррографического, морфологического анализа продуктов износа, физико-химического анализа смазочного материала и визуального осмотра контрольных элементов по техническому состоянию маслосистемы изделия.

При комплексном подходе решения задач трибодиагностики узлов трения предварительно анализировались диагностические признаки износа поверхностей трения наиболее критичных деталей, а затем различными методами трибодиагностики были проведены исследования их продуктов изнашивания. Рассматривались критерии контроля, полученные результаты исследований, сравнивались с диагностическими признаками и в конечном итоге принималось решение о техническом состоянии поверхностей трения.

Основные результаты работы по контролю работоспособности узлов авиационного двигателя представлены в докладе.

Литература

1. *Степанов В.А.*. «Диагностика технического состояния узлов трансмиссий газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле» – Рыбинск. «НПО САТУРН» - 2002г., 232 с.

2. *Долгополов И.Н., Соколов М.П., Шкаликов Э.А., Чирков Ю.А., Милинис Л.В., Мартыненко М.Н., Хачатрян Г.С., Родичева О.С.* и другие. Отчет о НИР «Разработка методики контроля и локализации дефектов наиболее ответственных узлов газотурбинного двигателя по периодическому спектральному, феррографическому и морфологическому анализу отпечатков и смывов с контрольных элементов (магнитные пробки, стружкосигнализаторы, маслофильтры), с учетом взаимосвязанных параметров, регистрируемых на двигателе (вибрация, температура масла), ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», 2016.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАБОТКИТЕХНИЧЕСКОЙКЕРАМИКИИАЛМАЗОВТЕПЛОВЫМИМЕТОДАМИ

Павел Алексеевич Чаевский

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 данной научной работе исследуется возможность обработки технической керамики и алмазов тепловыми методами.

Приведена подробная классификация технической керамики. Описаны основные свойства, химический состав и технологии ее изготовления. Показано влияние методов изготовления на свойства керамики. Указаны основные области применения технической керамики.

Также в работе представлены классификация технических алмазов, методы их получения и основные свойства.

Рассмотрены такие тепловые методы, как: лазерная, электроэрозионная и плазменная обработки.

Для проведения исследования из рассмотренных видов керамики были выбраны корундовая и карбидокремниевая керамики, а также поликристаллические алмазы как

наиболее распространенные в машиностроении. Исходные данные для проведения исследований взяты из многочисленных источников и представлены в виде сводных таблиц.

Возможность обработки выбранных материалов тепловыми методами оценивали по критерию Палатника и путем решения двухфазной тепловой задачи с использованием программы Erosion.

По результатам решения тепловой задачи были построены зависимости глубины проплавления исследуемого обрабатываемого материала в зоне воздействия источника теплоты от длительности импульса при разных тепловых потоках и изменение температуры материала от расстояния до источника теплового потока.

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- корундовая керамика обладает удовлетворительной обрабатываемостью;
- поликристаллические алмазыимеют хорошую обрабатываемость;
- для оценки обрабатываемости карбидокремниевой керамики тепловыми методами и уточнения полученных результатов необходимы дополнительные эксперименты.

Литература

МатренинС.В., СлосманА.И. Техническая керамика: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с.

Физические величины: справочник /А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М.Братковский и др.; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.:Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

КикоинИ.К. Таблицы физических величин: справочник / под ред. акад. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.

ВоробьевА.Ю., ПетровВ.А., ТитовВ.Е. Быстрый нагрев и плавление оксида алюминия при воздействии концентрированного лазерного излучения // Теплофизика высоких температур, 2007, т.45, №4, с.533 - 542.

*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. с.164…171.

УДК 621.914.1

ПОГРЕШНОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ЗАДНЕГО УГЛА ПРИ ЗАМЕНЕ ТРОХОИДАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ОКРУЖНОСТЯМИ

Алексей Андреевич Чернобров

Магистрант 2 года,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»
Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана

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

Задний угол при резании является одним из главных параметров. Его уменьшение ведет к усилению трения по задней поверхности, ухудшению шероховатости обработанной поверхности, снижению износостойкости. Поэтому учет изменения заднего угла при моделировании процесса резания является актуальной задачей. Особенно это важно при фрезеровании, что связано присущим фрезерованию периодическому изменению кинематического заднего угла при движении зуба фрезы. К сожалению, в известной автору

литературе рассматриваются другие вопросы, связанные с трохоидальной формой траектории движения зуба фрезы (например, в [1, 2]), а указанная проблема – нет.

Для исследования изменения кинематического заднего угла воспользуемся схемой, представленной на рис.1 и параметрическими уравнениями для траектории движения зуба по трохоиде $\begin{cases} x_{\text{тр}} = Rsin\varphi + S_{\text{о}}\varphi/2\pi \\ y_{\text{тр}} = Rcos\varphi \end{cases}$ и по окружности $\begin{cases} x_{\text{окр}} = Rsin\varphi \\ y_{\text{окр}} = Rcos\varphi \end{cases}$,

где R – радиус фрезы, $S_{\text{о}}$ – подача на оборот фрезы, φ – угол поворота зуба фрезы, $x_{\text{тр}}$, $y_{\text{тр}}$и $x_{\text{окр}}$, $y_{\text{окр}}$ – координаты зуба фрезы при описании его траектории трохоидой и окружностью соответственно.

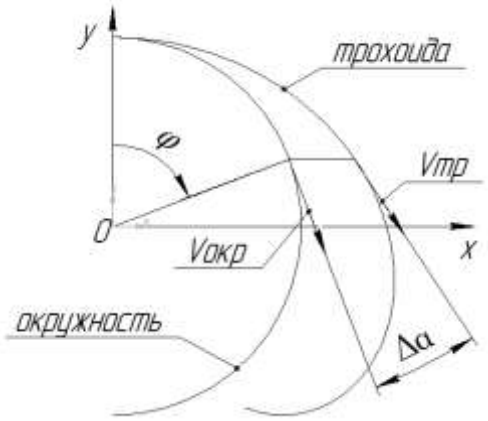


Рис. 1. Расчетная схема определения изменения заднего угла при замене трохоиды окружностью

Продифференцировав эти уравнения по φ получимпроекции векторов скорости на оси x и yв зависимости от угла поворота зуба фрезы. Для трохоиды и для окружности:

$$\begin{cases} V_{x\,\text{тр}} = x'_{\text{тр}} = Rcos\varphi + S_{\text{о}}/2\pi \\ V_{y\,\text{тр}} = y'_{\text{тр}} = -Rsin\varphi \end{cases} \text{ и } \begin{cases} V_{x\,\text{окр}} = x'_{\text{окр}} = Rcos\varphi \\ V_{y\,\text{окр}} = y'_{\text{окр}} = -Rsin\varphi \end{cases}$$

где $V_{x\text{тр}}$, $V_{y\text{тр}}$, $V_{x\text{окр}}$,$V_{y\text{окр}}$ – проекции скорости резания на оси x и y.

Угол Δαмежду векторами $V_{\text{тр}}$и $V_{\text{окр}}$ является погрешностью кинематического заднего угла при замене трохоидальной траектории окружностями. Его можно вычислить по формуле, полученной из скалярного произведения векторов[3]:

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{x'_{\text{тр}}x'_{\text{окр}} + y'_{\text{тр}}y'_{\text{окр}}}{\sqrt{x'^{2}_{\text{тр}} + y'^{2}_{\text{тр}}} \cdot \sqrt{x'^{2}_{\text{окр}} + y'^{2}_{\text{окр}}}}\right)$$

По этой формуле были выполнены расчеты для различных подач и диаметров фрез. Данные для расчета были выбраны по каталогу современных фрез Sandvik из серии CoroMillPlura.Для фрезы диаметром 10 мм и подачей 0,1 мм на оборот график $\Delta\alpha(\varphi)$ выглядит следующим образом:

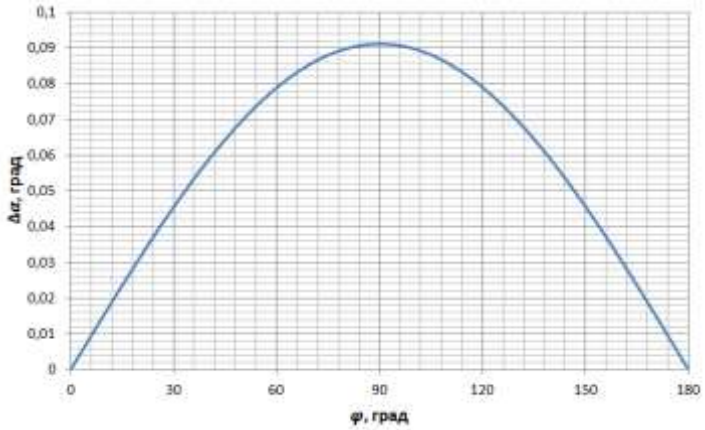


Рис. 2. Зависимость погрешности заднего угла Δα от угла поворота зуба фрезы φ

Максимальная погрешностьзаднего угла наблюдается при угле поворота зуба 90°для выбранных параметров составляет примерно 0,09°. Увеличение радиуса фрезы приводит к уменьшению погрешности, а увеличение подачи на оборот – к увеличению.Наибольшая погрешность возникает при малых диаметрах фрезы, работающей на большой подаче.

Итак, погрешность замены трохоидальной траектории движения зуба фрезы окружностью не вызывает больших изменений величины кинематического заднего фрезы. Однако при фрезеровании с большими подачами (высокопроизводительной обработке) эта погрешность может быть существенной.

Литература

1. *Потапова М.С., Виноградов Д.В.*Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой// Наука и образование: научное издание МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2015. № 6. С.42-55. DOI:10.7463/0615.0778064

2. *Тихонова А.А., Виноградов Д.В.*Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании// Известия высших учебных заведений. Сер. Машиностроение. 2011. №11. С.68-71.

3 *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. ГРФ-МЛ, 1986. 544 с.

УДК 621.9.048.4

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ

Антон Сергеевич Шевченко

Магистр 2 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» МГТУ им. Н. Э. Баумана

Представленная работа посвящена получению титановых порошков.Одним из перспективных методов получения высокодисперсных порошков является метод

электроэрозионного диспергирования металлов. Под действием электрических разрядов материал заготовки плавится, испаряется и удаляется из межэлектродного зазора в жидком или парообразном состоянии. Подобные процессы разрушения электродов называют электрической эрозией. Продукты эрозии удаляются из межэлектродного зазора за счёт гидродинамических сил, возникающих при кавитационном разрыве газовых пузырей, образующихся в диэлектрической жидкости. Удаленный с поверхности заготовки материал охлаждается диэлектрической жидкостью и застывает в виде сферических гранул.

Для определения области рационального применения метода электроэрозионного диспергирования необходимо выявить зависимости геометрических размеров получаемого порошка от режимов электроэрозионной обработки, определить возможную производительность метода для рассматриваемых диспергируемых материалов.

Для решения поставленной задачи были проведены исследования по оптимизации режимов электроэрозионной обработки титана. Теоретические исследования в области электроэрозионной обрабатываемости титана проводились на основе решений тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала – задачи Стефана, т.е. определения зависимости глубины проплавления материала от времени, исходя из физических свойств материала, плотности теплового потока q и длительности его действия (рис.1).

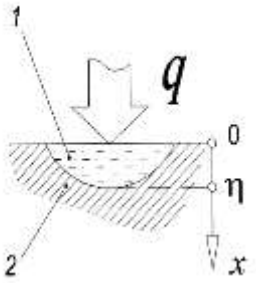


Рис 1. Схема для определения границы фазового превращения материала:

1 – жидкая фаза; *2* – твердая фаза.

С учетом полученных результатов определены минимальные длительности электрических импульсов, при которых возможно диспергирование титана, в зависимости от используемых энергий импульсов; получены значения длительностей импульсов, обеспечивающих максимальную производительность процесса диспергирования.

Максимально возможный размер частиц порошка, получаемого методом электроэрозионного диспергирования, равен объему лунки, образованной в результате действия электрического разряда. Также по объему лунки можно определить возможную производительность процесса электроэрозионного диспергирования. Поэтому были получены лунки на поверхности титанового образца, произведены измерения их геометрических параметров и выполнен анализ полученных результатов. Для проведения экспериментов по определению геометрических характеристик порошка было спроектировано специальное приспособление. На основе полученных результатов определена максимально возможная производительность процесса электроэрозионного диспергирования титана, определена дисперсность получаемого титанового порошка.

Литература

1.*И.Б. Ставицкий*, Определение рациональных режимов электроэрозионной обработки платины на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала» // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение 2011.
Спец. вып. «Энергетическое и транспортное машиностроение», с. 164-170

2. *Каблов, Е.Н.* Стратегические направления развития материалов итехнологий их переработки на период до 2030 г. // Авиационныематериалы и технологии. 2012. №S. С. 7-17.
3. *И.Б. Ставицкий, Ю.Л. Битюцкая*. «Лабораторный практикум по курсу «Теория электрофизических иэлектрохимических методов обработки материалов» // метод. Указания– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана,2010. С.4-7.
4.*И. М. Федорченко, И. Н. Францевич*.Справочник «Порошковая металлургия» // Изд-во «Наукова думка» 1985 г.
5.*Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий*.«Процессы порошковой металлургии» // учеб.для вузов : в 2 т. М. : МИСиС, 2001.
6.*Р.К.Байрамов*, «Получение высокодисперсных порошков металлов и их соединенийэлектроискровым диспергированием металлов»// Москва» Изд. Дом МИСиС, 2012 г.

УДК 621.92

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ГАЛТОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Полина Юрьевна Щёлокова

Магистр 1 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»

Галтовка – безразмерная обработка деталей с целью удаления заусенцев и облоя, скругления острых кромок, снятия окалины и ржавчины, получения заданной шероховатости обработанной поверхности, полирования. Внедрение галтовочного процесса на производстве призвано сократить трудоемкие слесарные операции.

В работе рассмотрены проблемы, возникшие при внедрении галтовочных операций в существующие технологические процессы изготовления деталей на предприятии АО «Приборостроительный завод».

Выделено две основные проблемы:

1) отсутствие нормативной базы режимных параметров галтовки;

2) сложность формирования четких требований к результату галтовки, выраженных в конкретных значениях величины требуемого радиуса скругления острых кромок и параметра шероховатости.

Данные проблемы являются комплексными, так как зависят от многих переменных факторов:

- различное состояние партий деталей, зависящее от предыдущих операций: уровень мастерства оператора, качество приобретенного материала, состояние обрабатывающих инструментов и оснастки на предыдущих этапах технологического процесса;
- различное количество деталей в партии;
- наличие доступного абразивного наполнителя и степени его изношенности;
- степень загруженности галтовочного участка.

Трудность предъявления четких требований к результату галтовки заключается в следующем:

- практическая сложность измерения радиуса скругления кромок;
- отсутствие требований к значению величины радиуса скругления в конструкторской документации. В большинстве случае данные требования имеются, но носят качественный характер и выражаются в виде технических требований: «Острые кромки притупить».

Установление жестких требований к результату галтовки, с одной стороны, способствовало бы четкой регламентации и выработке собственной нормативной базы режимных параметров, с другой стороны, значительно и неоправданно увеличило трудоемкость галтовочных операций.

На предприятии АО «Приборостроительный завод» обозначенные проблемы решаются следующим образом:

- собираются статистические данные обработки с целью выработки в будущем нормативной базы режимов галтовки;
- оценка качества результата галтовочного процесса осуществляется качественно: радиус скругления кромок считается достаточным при достижении значения, исключающего опасность пореза кожных покровов.

Литература

1. *Костенков С.А.,* Повышение работоспособности галтовочных тел на основе применения зерен с контролируемой формой. Автореф. дис… канд. техн. наук. – Томск: КГТУ, 2007. URL: http://dlib.rsl.ru/viewer/01003160306#?page=3 (дата обращения 13.03.2017)

Секция III

Технологии машиностроения

Председатель: **Васильев Александр Сергеевич**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии машиностроения» (МТ-3)

Ученый секретарь: **Зайцев Александр Вячеславович**
кандидат технических наук, ассистент кафедры МТ-3

УДК 621.822

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

Андрей Дмитриевич Балдин

Студент 4 курса,
кафедра «Технологии машиностроения»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Л. Петухов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Важным резервом повышения качества продукции машиностроения является обеспечение корректирующих воздействий на параметры технологической системы. Наибольшие трудности возникают в процессе обеспечения точности формы и расположения обработанных поверхностей. При высоких технических требованиях, предъявляемых к точности формы обработанных поверхностей важно выделить собственно форму поверхности детали.

Эффективный метод выявления технологических причин отклонений точности формы обрабатываемых поверхностей заключается в разложении продольных и поперечных профилей исследуемой поверхности детали на элементарные составляющие, так как между ними и технологическими причинами возникновения отклонений существуют определенные зависимости.

Совокупность текущих размеров реальной цилиндрической поверхности детали в продольных и поперечных сечениях может быть выражена переменным радиусом-вектором $r(z, \varphi)$, отсчитываемом от оси номинального цилиндра в узловых точках. Отклонение текущего радиус-вектора r (z, φ) от радиуса номинального цилиндра r_0удобно характеризовать величиной:

$$\Delta r(z, \varphi) = r_0 + r(z, \varphi)$$

Предлагается имитационная модель поверхности вращения в виде ортогональных полиномов, включающих ортогональные многочлены Чебышева, имеющая вид:

$$\Delta R(z,\varphi) \approx A_{0,0} + \sum_{i=1}^{n} A_{i,0} \cdot P_l^{(i)}(z) + \sum_{j=1}^{k} A_{0,j} \cdot \cos(j, \varphi + \varphi_{0,j}) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} A_{i,j} \cdot P_l^{(i)}(z) \cdot \cos(j\varphi + \varphi_{i,j})$$

где: z, φ – осевая и угловая координаты, вычисленные в узловых точках, схема расположения которых показана на «рис. 1»;

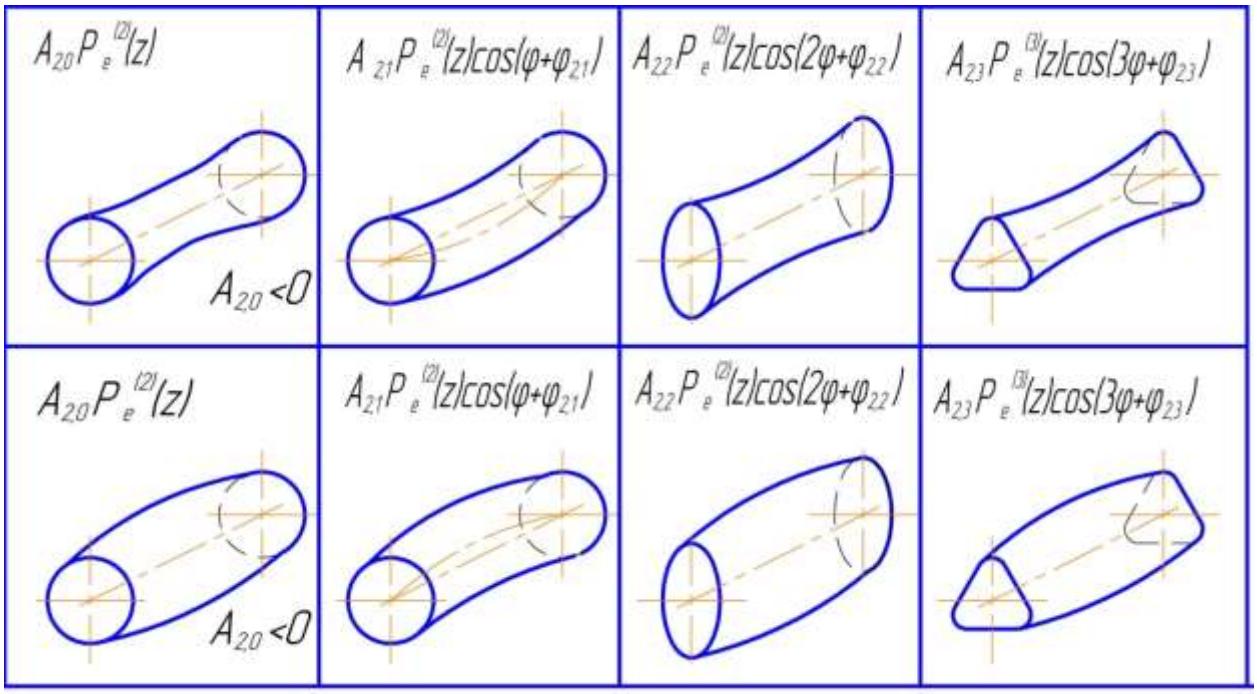
A_{ij}, φ_{ij} – коэффициенты и фазовые углы математической модели;

$P_l^{(i)}$ (z) – ортогональные многочлены.

Количество и расположение узловых точек, лежащих на реальной поверхности детали, в которых необходимо провести измерения текущего размера-радиуса определяют в зависимости от требуемой точности контроля.

В работе представлен подробный анализ математической модели и предложена геометрическая интерпретация полиномов, описывающих продольный и поперечный профиль, пример которой приведен в таблице.

Табл. Геометрическая интерпретация поверхности детали.



Таким образом, в работе выполнен анализ математической модели и представлена геометрическая интерпретация реальной цилиндрической поверхности.

УДК 621.9

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПАЗОВ В ДИСКАХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Владимир Владимирович Гомжин

Магистр 2 года
кафедра «Технология машиностроения»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Брылёв,
старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»

Одним из самых важных агрегатов самолета является газотурбинный двигатель, в сборку которого входит диск ТВД, подвергающийся наибольшим нагрузкам и износу во время эксплуатации.

В последнее время много внимания уделяется совершенствованию технологий изготовления пазов в дисках для установки компрессорных и турбинных лопаток. Одним из основных способов является протягивание пазов, для чего приходится изготавливать специальный инструмент – протяжки. У этого способа есть ряд недостатков, среди которых высокая стоимость инструмента, низкая стойкость и потребность в переточке режущих частей. Поэтому идет постоянный поиск новых решений технологии изготовления пазов дисков ТВД.

В современных условиях одной из главных задач является автоматизация производства: от внедрения станков с ЧПУ и роботизированных технологических комплексов до автоматизации технологической подготовки производства с помощью различного программного обеспечения.

В качестве основных поставленных задач необходимо выделить следующее:

а) Определение минимального количества переходов при ЭЭО, необходимого для достижения параметров, установленных чертежом детали;

б) Определение шероховатости, достигаемой при выбранном количестве переходов при ЭЭО.

Для решения поставленных задач был проделан эксперимент, главной задачей которого было исследование зависимости параметров шероховатости от количества переходов с целью снижения времени обработки при проволочной электроэрозионной обработке пазов в газотурбинных двигателях с использованием выбранной системы автоматизированного проектирования.

В качестве заготовки была выбрана титановая пластина ВТ20 толщиной 8мм. В данной заготовке методом проволочной ЭЭО были вырезаны 5 елочных пазов за 1-5 переходов соответственно (Рисунок 1).

Рисунок 1. Образцы, полученные методом ЭЭО за 1-5 переходов.

По результатам измерений можно сделать выводы о том, что расчетное время по программе практически совпадает с фактическим временем. Самым длительным переходом оказался переход №5, наименее продолжительным – переход №2.

Наибольшая средняя фактическая скорость получена при обработке в 1 переход – 5.2 мм/мин, наименьшая при обработке в 5 переходов 1.4 мм/мин, однако максимальная зафиксированная скорость была получена при выполнении перехода №2 – 13 мм/мин.

На рисунке 2 представлена диаграмма, позволяющая наглядно оценить время, затраченное на обработку в 5 переходов. Из изображенного ниже следует, что наибольшее время достигается во время 5-го перехода.

Рисунок 2. Диаграмма, показывающая время, затраченное на каждый переход.

Далее с помощью профилометра MitutoyoSJ-301 были проведены измерения параметров шероховатости Ra и Rz у полученных образцов. Каждый образец был измерен 5 раз в соответственно расположенных местах. Подсчитаны параметры $Ra_{ср}$ и $Rz_{ср}$.

По результатам измерений получены фактические значения параметров $Ra_{ср}$ и $Rz_{ср}$, а также средние значения параметра Ra, рассчитанные программой после 1-5 переходов. Стоит

отметить, что после первого перехода полученный параметр шероховатости $Ra_{ср}$ оказался ниже на 280мкм заявленного показателя, однако, при осуществлении дальнейших переходов, заявленных показателей достичь не удалось. Такое расхождение обуславливается низкой прокачкой и возможно необходимым обслуживанием станка – проверкой натяжения проволоки с помощью тензометра, чистка токоподводов верхнего и нижнего сопла станка от отходов обработки. Вполне вероятно, что при осуществлении данного технического обслуживания удастся приблизиться к заявленным параметрам.

Помимо всего, было проанализировано соотношения параметров Rz к Ra. Установлено, что на переходах 1-3 соотношение составило 6,5, а на переходах 4-5 – 7,5. Данную зависимость можно использовать при необходимости в дальнейшем вычисления приблизительного значения параметра Rz, имея теоретическое значение/

Зависимость параметра $Ra_{ср}$ от количества переходов представлена на гистограмме на рисунке 3. Анализируя данное изображение можно сделать вывод, что значительное снижение шероховатости наблюдается при 4-х переходной обработке. Ra=0.8 – шероховатость согласно чертежу.

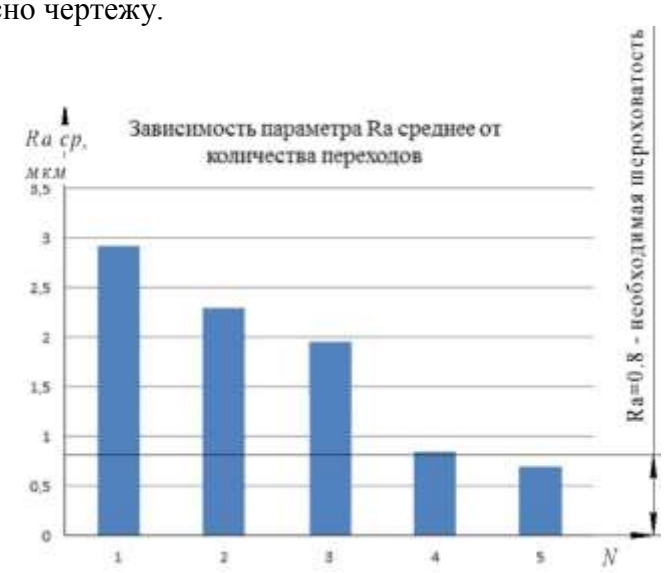


Рисунок 3. Зависимость параметра $Ra_{ср}$ от количества переходов

Как известно, поверхностный слой материала обрабатываемой заготовки подвергается локализованному и кратковременному, но весьма интенсивному термическому и химическому воздействию. В результате на поверхности заготовки образуется слой, сильно отличающийся от основного материала по своим физико-механическим свойствам (изменяется структура, твердость, появляются трещины и т.д.). Величина измененного слоя зависит от энергии импульсов, их длительности и теплофизических свойств обрабатываемого металла и находится в пределах от десятых до тысячных долей миллиметра. Вследствие хрупкости и неравномерной плотности в большинстве случаев поверхностный слой является дефектным. Он снижает прочностные свойства металла, поэтому при изготовлении ответственных деталей его удаляют. В нашем случае были произведены металлографические измерения пазов 4 и 5 с целью выявления величины оплавленного слоя.

При осмотре поверхности образцов на электронном микроскопе отмечается, что поверхность имеет оплавленный вид с застывшими каплями расплавленного металла (Рисунок 4).

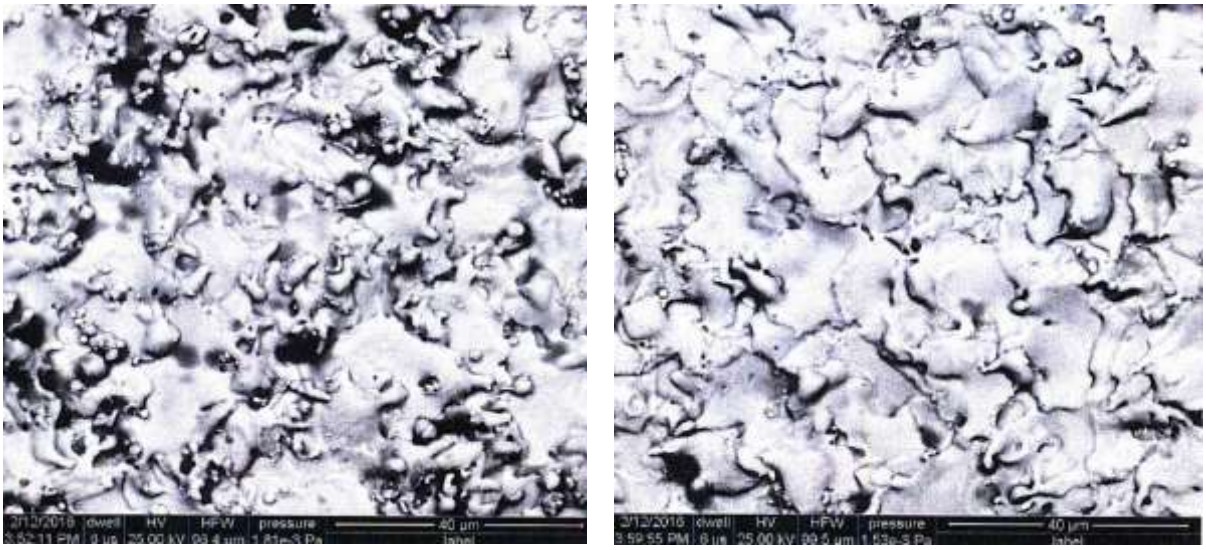


Рисунок 4. Поверхности образцов 4 и 5 под электронным микроскопом.

Исследованием микрошлифов установлено:

- на поверхности образца № 4 имеются отдельные участки с оплавленным слоем максимальной величиной до 2,0 мкм, а также наблюдаются и единичные всплески до 3,0 мкм (Рисунок 5а);

- на образце № 5 имеются единичные участки с оплавленным слоем до 0,4 мкм и один участок с оплавленным слоем до 1,8 мкм (Рисунок 5б).

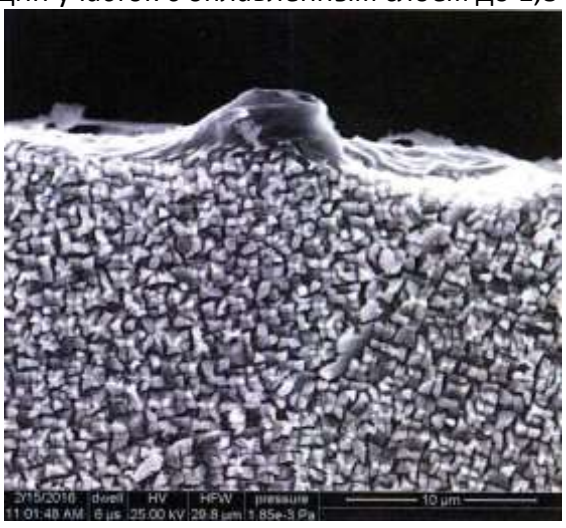


Рисунок 5а.

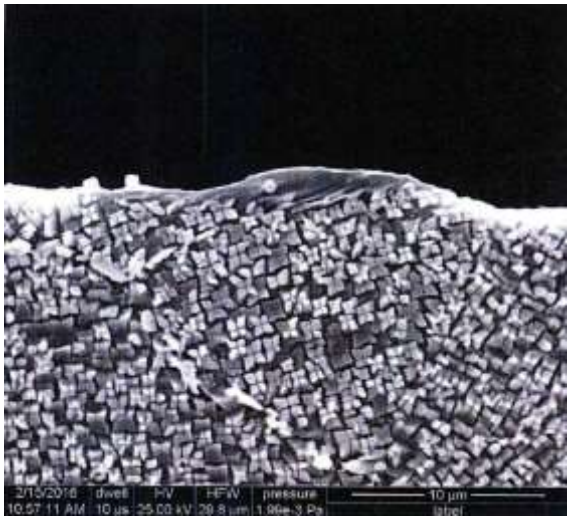


Рисунок 5б.

С целью удаления оплавленного слоя в елочных пазах был разработан специальный осевой абразивный инструмент, в месте наибольшего сечения повторяющий профиль елочного. Выбранный инструмент – монолитный инструмент со сменными абразивными головками с зерном из карбида кремния.

В данный момент ведется работа, связанная с подбором материала инструментов, их испытаниями на образцах с целью достижения максимального снятия оплавленного слоя с поверхностей образцов с отсутствием прижогов.

Из проделанной работы можно сделать выводы о том, что возможно применить 4-х переходную обработку с последующим полированием. В силу того, что полирование пазов необходимо в любом случае (для снятия измененного слоя с поверхности паза), то данный вариант подлежит рассмотрению и позволит снизить время обработки раза на ~25%, что в результате уменьшит время обработки диска ТВД на ~19,5 часов.

Литература

1. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 276 с.
2.*Фотеев Н.К.* 1980 Технологии электроэрозионной обработки М.: Машиностроение, 1980. – 19 с.
3.*Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П.* Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. –М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. -437с.
4. *Antar, M.T., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Sage, C., Cuttell, M., Perez, R., Winn, A.J.,* Fatigue response of Udimet 720 following minimum damage wire electrical discharge machining, Materials and Design 2012. p. 295-300.
5. *Двирная О.З.* Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя замковых пазов в дисках ГТД из сплава ЭП517-Ш. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. Киев, 2015.

УДК 621.01/.03

Использование накатанных рифлений в технике.

Александра Михайловна Данько

Студент 4 курса, специалитет,
кафедра «Технологии машиностроения»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. В. Брылёв,
старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения»

елью данной работы является обзорное исследование области применения рифлений и способов их получения, а так же выделение основных направлений проведения дальнейшей научной деятельности в этой области. Актуальность исследований заключается в том, что экономика России нуждается в развитии новых технологий, снижении себестоимости продукции, повышении производительности труда и уменьшении энергоемкости производства, что может быть достигнуто в том числе и применением накатанных рифлений в машиностроении.

Одним из наиболее распространенных вариантов применения рифлений в технике является использование их как элементов крепежных деталей. Создание самостопорящих, самонарезающих, самосверлящих и др. винтов, а так же различных гаек и клепок с рифлениями связаны со снижением трудоемкости монтажно-сборочных работ и с повышением эксплуатационной надежности соединений. В данном случае рифление является простым и одновременно функциональным конструктивным элементом на крепежных деталях. В настоящее время рифление как один из элементов крепежных деталей наиболее широко используется в пяти случаях: для запрессовки крепежных деталей в неразборном соединении, для локализации деформации при установке крепежа односторонней постановки, для удобства и ускорения монтажных работ, для самостопорения крепежной детали при монтаже, в качестве технологического приема обеспечения равномерной деформации.

Так же рифления быть применены, например, в конструкции валковой машины – рифления, нанесенные на валик машины, обеспечивают заданную степень дроблении, а так же используются на арматурах и на напольных листах металла, чтобы избавиться от проскальзывания ноги при ходьбе по ним.

На данный момент известно несколько способов накатывания рифлений: накатывание посредством устройства для рифления прокатных валков, многопроходное накатывание рифлей с периодическим перемещением накатных роликов к центру заготовки, последовательное накатывание путем многопроходной обработки поверхности накатными роликами с профилированной рабочей поверхностью поперечных рифлей 0,5..0,8 глубины профиля продольных рифлей, а затем продольных рифлей. В ходе ознакомительного исследования будут выделены основные недостатки этих способов и обозначены перспективы дальнейшей научной работы.

Таким образом, в результате проделанной работы будут:
- Изучены общие характеристики накатанных рифлений и их область применения.
- Изучены методы получения рифлей.
- Выделены основные недостатки этих методов и предложены варианты их улучшения.
- Выбраны направления дальнейших научных исследований.

Литература

1. *Напалков А. В*. Рифление как один из элементов крепежных деталей // Статья http://navtech.webservis.ru/atcl17/atcl17.htm
2. *Попов Е. А.* Способ накатывания продольных рифлей // Патент http://www.freepatent.ru/patents/2087239
3. Основные детали и узлы валковых машин http://studopedia.ru/2_103074_osnovnie-detali-i-uzli-valkovih-mashin.html

УДК 658.511

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Иван Владимирович Литвинов

Магистр 2 года,
кафедра «Технология машиностроения»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.В.Боярская,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

В данной статье производится исследование методов моделирования роботизированных технологических комплексов. С помощью каждого из методов была создана и исследована модель роботизированной технологической линии, после чего были проанализированы достоинства и недостатки каждого метода.

Все три метода позволяют оценить производительность и другие факторы модели, однако имитационный метод невозможно провести без помощи специальной программы, а интерактивное моделирование очень сложно произвести без Excel. По трудоёмкости самым трудоёмким методом является построение циклограммы, самым простым был бы имитационный метод – если бы в нём не пришлось писать управляющие программы, интерактивный метод наименее информативен, имитационный и циклограмма более

информативны. Таким образом, можно рекомендовать применение следующих методов в следующих сферах деятельности:

1. Метод построения циклограммы – весьма трудоёмкий, время фиксируется вручную, т.е. не очень точно. Однако, наиболее информативен из всех – позволяет рассмотреть функционирование системы в мельчайших подробностях. Однако, с добавлением подобных подробностей в программы, работающие по имитационному методу, потеряет всякий смысл. Рекомендуется применять в сложных моделях, когда необходимо учесть каждую деталь, каждую мелочь.
2. Интерактивный метод моделирования – прекрасно подходит для предварительных намёток и прикидок, однако совершенно не подходит для подробного анализа производственной системы. Рекомендуется применять для предварительных и примерных расчётов.
3. Имитационный метод моделирования – наиболее прогрессивный метод. Может быть трудоёмким из-за необходимости написания программ для работы модели, однако, позволяет довольно подробно исследовать систему, получать самые разнообразные статистические данные, проводить на модели эксперименты. В случае, если рассматриваются не роботизированные комплексы, трудоёмкость минимальна. Позволяет также рассматривать автоматизированные комплексы любой сложности и объёма. Рекомендуется применять при любых основательных исследованиях, перепроверяя данные и другими методами.

Литература

1. *Асатуров Р.Р., Потяшин Ю.О., Челюканов Н.Ю*. Имитационное моделирование производственных систем в среде TECNOMATIX. –Москва, 2014.
2. *Steffen Bangsow*. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk Usage and Programming with Examples and Solutions. — Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. — ISBN 978-3-642-05073-2
3. Технология машиностроения : учебник для вузов : в 2 т. / *Бурцев В. М., Васильев А. С., Гемба И. Н. [и др.] ; ред. Дальский А. М., Кондаков А. И*. - 3-е изд., испр. и перераб. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - ISBN 978-5-7038-3444-2.

УДК 621.9

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТКИ НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Лю И

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии машиностроения»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

В рамках научной работы проанализирован технологический процесс изготовления ступицы гидронасосаи оценена составляющая погрешности обработки, зависящая от траектории движения инструмента при фрезеровании лопаток.

Ступица представляет собой тело вращения с лопатками сложного криволинейного профиля из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. Сложную фасонную поверхность лопаток

получают фрезерованием на станке с ЧПУ. Однако при написании управляющей программы возникает задача описать траекторию движения инструмента таким образом, чтобы она была максимально приближена к заданному криволинейному профилю. В рамках работы рассмотрены варианты задания траектории движения инструмента с аппроксимацией криволинейной поверхности отрезками прямых и дугами.

На чертежепрофиль лопатке задан координатами точек в полярной системе координат, фрагмент чертежа ступицы, представлен на рис.1

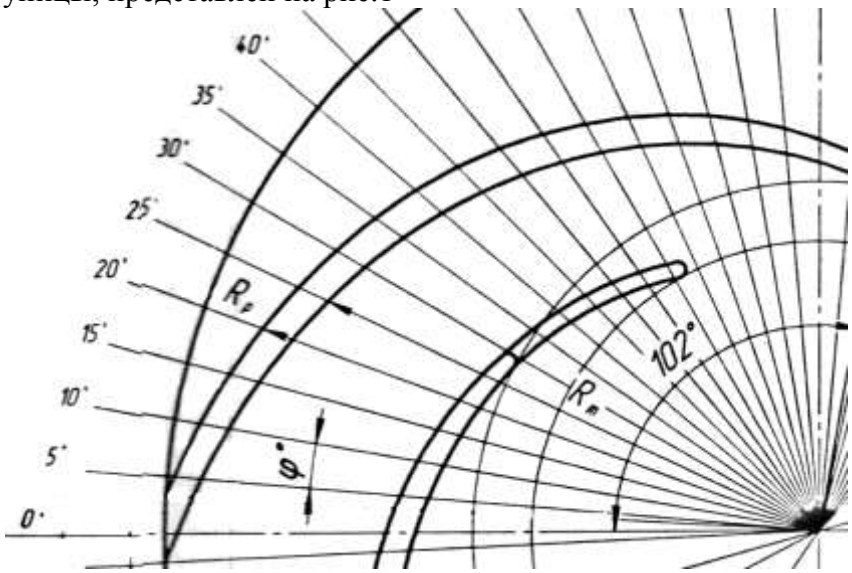


Рис.1 Фрагмент чертежа ступицы: φ – угловая координата профилей; R_p – радиус внутренней стороны лопатки («корыта»); R_m – радиус внешней стороны лопатки («спинки»).

Для решения поставленной задачи были написаныпрограммы в программном комплексе MATLAB.

Первая программа позволила определитьфункции, описывающие криволинейные профили внутренней и внешней стороны лопатки:

1) Функция профиля внешней стороны лопатки:

$$y = -4.035 * 10^{-11} * x^6 - 9.687 * 10^{-9} * x^5 - 9.263 * 10^{-7} * x^4 - 4.441 * 10^{-5} * x^3 - 0.006971 * x^2 - 0.3511 * x + 75.29$$

2) Функция профиля внутренней стороны лопатки:

$$y = -5.197 * 10^{-11} * x^6 - 1.324 * 10^{-8} * x^5 - 1.362 * 10^{-6} * x^4 - 6.752 * 10^{-5} * x^3 - 0.007282 * x^2 - 0.3036 * x + 70.93$$

Для оценки погрешности формы обработанной криволинейной поверхности написана программа расчета смещения заданных точек профиля при двух вариантах описания профиля. Разность между заданным и смещенным положением точек профиля показывает погрешность, которая может получиться при том или ином представлении профиля в управляющей программе для фрезерного станка с ЧПУ.

Получены величины погрешностей при линейной и дуговой аппроксимации профиля для каждой точки профиля, соответствующей заданным угловым координатам. Анализ показал, что погрешность при методе дуговой аппроксимации больше, когда угловая координата φ более 65°.

Таким образомдля написания управляющей программы фрезерного станка с ЧПУ целесообразно выбрать метод линейной аппроксимации, когда угловая координата более 65° и метод дуговой аппроксимации, когда этот угол менее 65°.

Литература

1. *Кондаков А.И.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие – М.: Кнорус, 2012. – 400 с.

2. *Сосонкин В.Л., МартиновГ.М.*Системы числового программного управления: учебное пособие – М.: Логос, 2005. – 296 с.

УДК 621.98.011

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ СОПРЯЖЕНИЯ ГНУТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сергей Юрьевич Фролов

Магистр 1-го года обучения,
кафедра «Металлургия»
Московский политехнический университет (Московский Политех)

Научный руководитель: Ю.А. Морозов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия»

Гибка листового металла представляет собой формоизменяющую операцию, направленную на получение объемной заготовки либо изделия в процессе деформации листа. Такой процесс дает возможность ускорить и упростить процедуру производства металлоконструкций.

При гибке листовых заготовок получаемый радиус гиба задается шириной матрицы и также зависит от материала. При каждом гибе происходит увеличение длины заготовки на некоторую величину Δ.

Иначе говоря, пластина изначальной длиной $L_0 = 100$ мм, после деформации гибкой, условно, посередине в 90 градусов будет иметь суммарную длину (рис. 1)

$$L_1 = \left(50 + \frac{\Delta}{2}\right) + \left(50 + \frac{\Delta}{2}\right) = 100 + \Delta \text{ мм}.$$

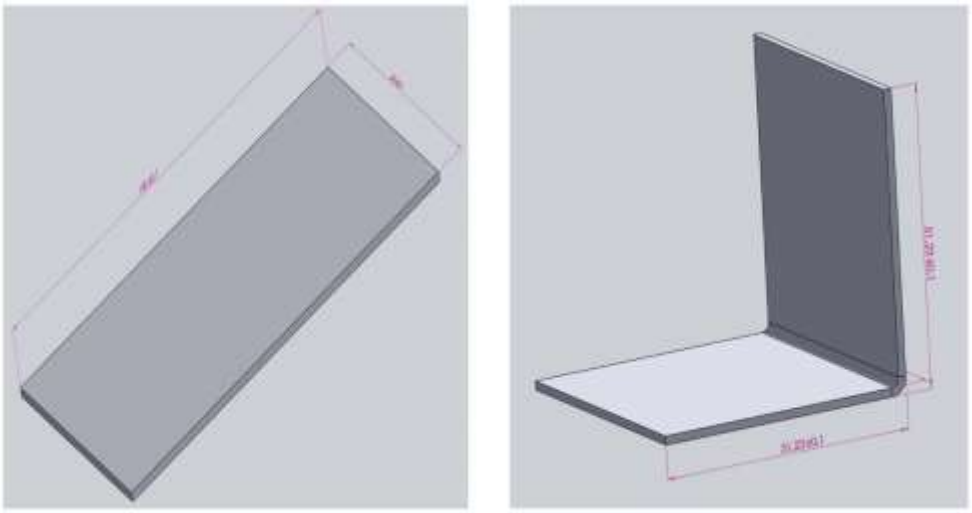


Рис. 1. Гибка листового материала

Исследованием процесса гибки занимались такие видные ученые, как Е.А. Попов, М.Е. Зубцов, В.П. Романовский и пр.

Однако в основном данные работы акцентируются на определении условного радиуса кривизны нейтральной поверхности гнутого изделия и величины утонения материала в зависимости от его толщины.

Поэтому величину удлинения можно оценить только утонением заготовки, что является в общем-то условным фактором.

Согласно работам Е.А. Попова радиус нейтральной поверхности определяется соотношением величин наружного R_1 и внутреннего R_2 радиусов гнутой детали [1, 2]

$$\rho_{\text{н}} = \sqrt{R_1 R_2}\ .$$

Но при этом не рассматривается деформационное изменение начальных радиусов до продеформированных значений $R_{\text{нар}}$ и $R_{\text{вн}}$ (рис. 2)

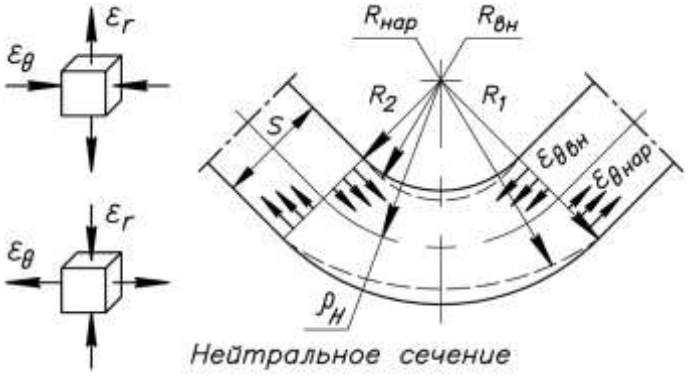


Рис. 2. Деформированное состояние изогнутой полосы

Радиус кривизны нейтральной поверхности по В.П. Романовскому

$$\rho_{\text{н}} = \left(\frac{R_2}{S} + \frac{S'/S}{2}\right)\frac{S'}{S} S \frac{b_{\text{ср}}}{b},$$

где S'/S – коэффициент утонения материала (рис. 3);

$b_{\text{ср}}/b$ – величина поперечной деформации полосы, определяемая отношением средней ширины полосы после гибки и ее начальной шириной.

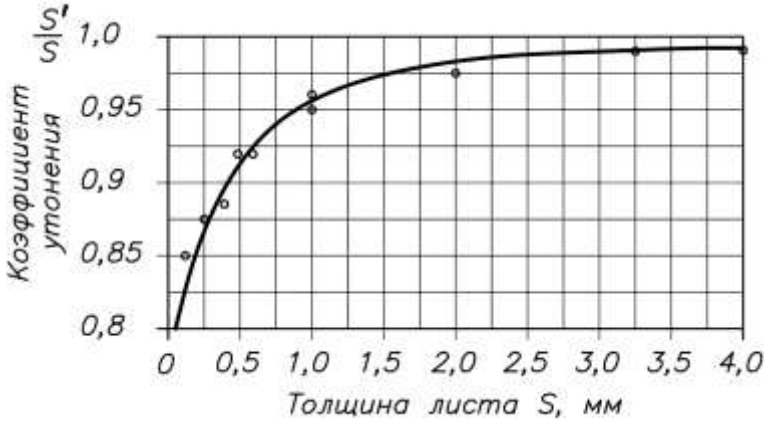


Рис. 3. Коэффициент утонения при гибке на 90 град (сталь 10-20)

Определяя величину утонения из условия равенства деформаций

$$(1+\varepsilon_z)(1+\varepsilon_r)(1+\varepsilon_\theta)=1,$$

и при допущении плоской схемы деформации, можно оценить влияние радиуса гибки на коэффициент утонения материала [3]

$$\frac{S'}{S} = \frac{1}{1-\varepsilon_r} = \frac{1+1{,}5\dfrac{S}{R_2}}{1+2\dfrac{S}{R_2}}.$$

Данные решения справедливы при условии, что гибка не сопровождается растяжением заготовки. Вместе с тем на практике изгибу заготовки всегда сопутствует некоторое ее растяжение, обусловленное скольжением по деформирующему инструменту.

Кроме того, коэффициент утонения при гибке зависит от пластичности материала, степени деформации и угла изгиба.

Соответственно, удлинение развертки для каждого материала также будет различным даже при использовании одних и тех же гибочных инструментов.

Поэтому если изначально, на этапе 3-х мерного моделирования разверток, не учесть специфику гибки каждого материала, в конечном итоге это повлияет на габаритные размеры получаемых деталей, которые либо не состыкуются друг с другом, либо состыкуются с большим зазором, что так же будет нетехнологично.

Например, при изготовлении сборки двери, состоящей из двух листовых заготовок разных материалов (углеродистая Сталь 3 и нержавеющая AISI 430), заготовки должны идеально входить одна в другую с минимальными зазорами (рис. 4).

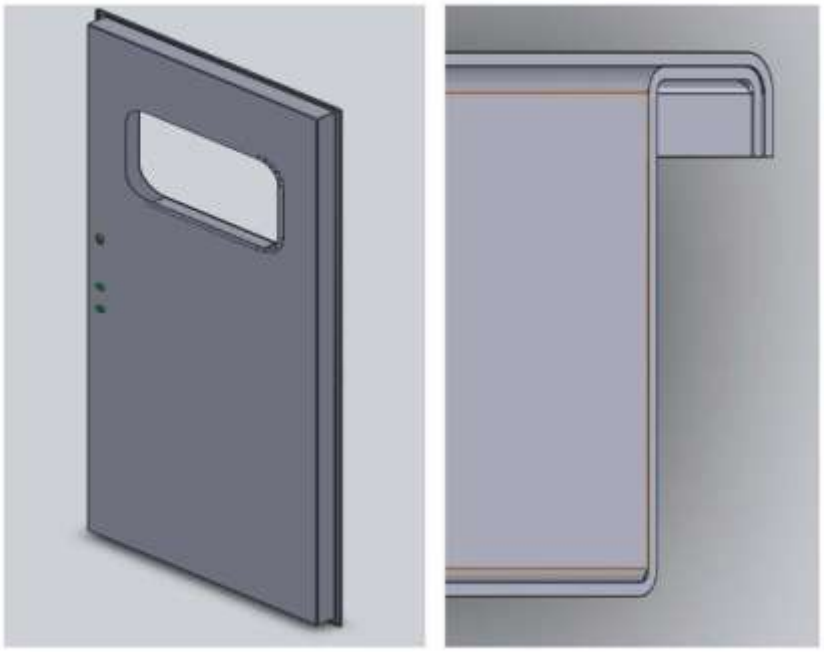


Рис. 4. Сборка двери (слева) и сопряжение гнутых элементов (справа)

При этом на одной заготовке у нас по одному гибу с каждой стороны, зато на второй – по три гиба с каждой стороны.

Применяемые в настоящее время технологии автоматизированного проектирования САПР не учитывают в алгоритме своих расчетах величину Δ, и единственный параметр, с помощью которого можно подогнать 3D модель к реальным результатам – это радиус.

В рамках подготовки к магистерской диссертации мною предлагается:

– рассмотреть специфику гибки для Стали 3 и AISI 403;
– найти экспериментальным путем величины Δ, радиусы получаемых гибов.

Для чистоты эксперимента предполагается взять пластины размерами 30×100 мм различных толщин из Стали 3 и нержавеющей стали одной из наиболее часто используемых марок AISI 430, и деформировать вдоль и поперек направления прокатки с использованием одних и тех же инструментов.

Результаты данного исследования позволят технологам более грамотно выбирать радиусы на этапах проектирования в 3D моделях, и назначать допуски таким образом, чтобы избежать трудностей сопряжения подобных сборках, а так же определить уровень доверия к САПР.

Литература

1. *Попов Е.А.* Основы теории листовой штамповки. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
2. *Зубцов М.Е.* Листовая штамповка. Л.: Машиностроении, 1980. 432 с.
Лукашкин Н.Д., Кохан Л.С., Морозов Ю.А. Определение геометрических характеристик гнутых швеллеров для работы в стойках // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: Межвуз. сб. научн. трудов / Под.ред. С.Н. Кривошапко. М.: РУДН, изд-во АСВ, 2002. вып. 11. С. 92-99.

УДК 338.512

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ДЛЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Азиз Эркинович Хафизов

Магистр 2 года,
кафедра «Технологии машиностроения»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.М. Деев,
доктор технических наук, преподаватель кафедры «Технологии машиностроения»

Наиболее стабильными заказчиком на российском машиностроительном рынке является государство, в особенности военно-промышленный комплекс (ВПК). В целях обеспечения обороноспособности государства, министерство обороны постоянно размещает Государственные оборонные заказы (ГОЗ) на торговых площадках в поисках тех предприятий, которые за наименьшую цену готовы предоставить необходимую продукцию необходимого качества.

Каждое предприятие, которое захочет получить заказ на изготовление изделия, должно предоставить предварительную расчетную стоимость изготовления изделия. Расчетная стоимость изготовления детали позволит государственному заказчику выбрать наилучшее предложение.

Данная работа направлена на исследования способа для расчета предварительной стоимости детали основываясь на технологическом процессе изготовления детали и структуре затрат на изготовление деталей уже выпускаемых/выпущенных на предприятии. На основании данных, полученных при расчете стоимости, будет сформирована суммарная стоимость изготовления детали в соответствии со статьями затрат описанными в приказе Министерства промышленности и энергетики [1] и построена структура затрат на производство детали.

Используя полученные данные, можно будет определить какие управленческие, конструкторские и технологические решения можно предпринять, чтобы снизить себестоимость и/или увеличить рентабельность детали.

Для расчета стоимости изготовления изделия будет взят технологический процесс изготовления втулки для подвода рабочей жидкости

Литература

1. Об утверждении порядка определения состава затрат на производство продукции оборонного назначения, поставляемой по государственному оборонному заказу [Электронный ресурс]: приказ Министерства промышленности и энергетики российской федерации от 23 августа 2006 г. N 200 (в ред. Приказа Минпромторга России от 07.11.2013 N 1773). – Режим доступа: Система Консультант.
2. Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.

3. Справочник технолога — машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А, Г. Суслова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова- 5-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение-1, 2003 г. 944 с, ил.

УДК 53.084.823

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДУПЛЕКСАЦИИ ПОДШИПНИКОВ ПРИ СБОРКЕ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ В РЗМ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Евгений Евгеньевич Чувилин *(1)*, ***Илья Александрович Самойлов*** *(1)*, ***Никита Витальевич Семенов*** *(1)*, ***Анастасия Сергеевна Самойлова*** *(2)*

Студент 3курса(1), студент 1 курса(2),
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»
Московский Политехнический Университет

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

Цель работы: Повышение качества сборки редукторов транспортных средств, снижение трудоёмкости и себестоимости изготовления редуктора, повышение производительности на операции сборки.

Ведущий мост транспортного средства (автомобилей)является важнейшей частью трансмиссии, представляет собой конструкцию, соединенную с рамой или с кузовом для передачи крутящего момента от карданного вала на колеса автомобиля.

Если в подшипниковых узлах, по условиям эксплуатации, наличие зазоров или значительных упругих смещений колец под действием внешних нагрузок является недопустимым, то подшипники устанавливаются с предварительным натягом.

Преднатяг подшипников – это три физических величины: момент трения, сила и деформация (осевое сжатие подшипников). В производственных условиях используется момент трения, однако, главный параметр – это сила преднатяга.

Преднатяг подшипников регулируется подбором необходимого размера компенсаторной дистанционной втулки и регламентируется моментом трения в пределах 2,5…4,5 нм после окончательной затяжки гайки хвостовика ведущей шестерни в пределах 300... 400 н м.

Первоначально был разработан и изготовлен измерительный щуп для определения требуемой толщины компенсатора.

Для измерения размера компенсатора в разработанной технологической установке первоначально использовался индикатор часового типа с ценой деления 0.01мм и пределом измерения 10мм.

Для более точного измерения размера конпенсатора использовалась Электронно-измерительная система с ценой деления 0,01 мм, предел измерения 3мм с использованием индуктивного датчика.

Анализ действующего процесса показал, что регулировка преднатяга с использованием компенсатора сопровождается повторной переборкой и разборкой, уже собранных узлов. Это обуславливается тем, что измерения и подбор компенсаторов сопровождается погрешностью, как на этапе измерения, так и на этапе подбора требуемого размера компенсатора.

На основе проведенного анализа была поставлена задача спроектировать новую технологическую оснастку для измерения компенсатора. Главное условие заключалось в обеспечении мобильности этой оснастки в условиях серийного производства и возможностью

быстрой переналадки на регулировку преднатяга с использованием компенсатора в других конструктивных вариантах подшипниковых узлов.

Новая технологическая оснастка позволяет измерять компенсатор за одну установку на фальш оправке, с помощью специального измерительного щупа, который перемещается в зазоре, между торцом верхнего подшипника и торцом распорной втулки. При измерении, дуплекс-подшипники, нагружаются технологической-измерительной силой. На корпус прикладывается вращение. После пяти оборотов в одну сторону и пяти оборотов в другую, с целью усадки подшипников. Индикатор настраивают на «0», после чего с помощью специальной рукоятки и эксцентрика, шток измерительного элемента переводят в верхнее положение и индикатор показывает отклонение и величину зазора. Размер компенсатора будет равен сумме – толщины измерительной части и показаний индикатора.

Разработанная установка была выполнена не только в виде чертежей и 3d модели, но и изготовлена.

УДК 621.9.07

ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ МАЛОЖЁСТКОЙ ДЕТАЛИ

Илья Викторович Шмаков

Магистр 2 года,
кафедра «Технологии проектирования и производства двигателей летательных аппаратов»
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Научный руководитель: В.Н. Юрин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии проектирования и производства двигателей летательных аппаратов»

Качество реализации технологических процессов изготовления деталей авиационной и ракетной техники во многом определяется применяемой оснасткой.

Настоящая работа посвящена анализу альтернативных вариантов при выборе технологического оснащения операции размерной обработки детали «Консоль»– составляющего элемента крыла ракеты базового предприятия. Основная задача проведения анализа – выбор оптимального приспособления для фрезерования упомянутой детали. Особенностью проведения данного анализа является сложность геометрической конструкции детали, обусловленная наличием тонкостенного фасонного элемента относительно большой длины, затрудняющего базирование детали при выполнении операции.

Для решения поставленной задачи применены методы индивидуального и коллективного экспертного оценивания.

Метод индивидуального экспертного оценивания (МИЭО)реализован по методике работы [1]: на основании ряда особенностей обрабатываемой детали формируется множество альтернативных решений, выделяются критерии их оценки, шкала оценки и решающее правило, которое в итоге позволит принять решение.

В качестве альтернатив выбраны варианты, отличающиеся базированием и закреплением заготовки с использованием:

А – универсальной оснастки (тисков);

Б – специального ложемента;

В – оснастки, изготовленной на основе сплава Вуда.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых вариантов выработаны критерии их оценки:

1) жесткость закрепления заготовки;
2) точность базирования заготовки;

3) быстродействие приспособления;
4) стоимость изготовления приспособления;
5) переналаживаемость приспособления;
6) трудоёмкость эксплуатации приспособления;
7) экологичность.

Метод групповой экспертной оценки (МГЭО) реализован с использованием критериев оценки, установленных в МИЭО. При этом по методике [2] была сформирована группа из 5 экспертов, оценена их квалификация и значимость, определены согласованность мнений экспертов и значимость вышеуказанных критериев. По данным критериям эксперты проставляли оценки рассматриваемым альтернативным вариантам приспособлений, на основании которых было сделано экспертное заключение.

В результате проведённого индивидуального и коллективного экспертного оценивания определено, что наиболее полно удовлетворяет установленным критериям при заданном уровне значимости оснастка, изготовленнаяна основе сплава Вуда (вариант В). При этом различие индивидуальных и коллективных оценок составило: для варианта оснастки А – 7,2 %, для вариантов Б и В – 1,4 %.

Для подтверждения состоятельности выбранного варианта в программном пакете COSMOSWorks проведены прочностные расчеты твердотельных электронных моделей. Исходными данными послужили схемы установки заготовки в каждое из рассматриваемых приспособлений и установленная величина силы резания выбранной стратегии обработки. Расчётом определялись величины отгиба заготовки во время обработки. Результаты прочностных расчётов показали, что приспособлением, обеспечивающим наименьший отгиб заготовки в процессе обработки, является оснастка, изготовленнаяна основе сплава Вуда (вариант В). В таблице 1 представлены величины смещения заготовки относительно линии оси симметрии под действием силы резания в каждом из трёх рассматриваемых вариантов приспособлений.

Таблица 1. Результаты расчётов

№ варианта	Название варианта	Отгиб заготовки, мкм	Допуск, мкм
1	А – универсальная оснастка (тиски)	500	50
2	Б– специальный ложемент	0,2	
3	В– оснастка, изготовленная на основе сплава Вуда	0,1	

Применение вариантного проектирования и системного подхода к анализу альтернатив обеспечивает повышение качества объектов проектирования, вырабатывает навыки обоснованного выбора технических решений.

Литература

1. *БезъязычныйВ.Ф., КорнеевВ.Д., ЛивановВ.Н., ЮринВ.Н.* и др. Под общ.ред. Безъязычного В.Ф.Альбом технологической оснастки для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении. Учебн. пособие. Ч.1. Станочные приспособления для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении.– М.: Машиностроение, 2000. –147 с.
2. *Курицына В.В., Косов Д.Е., Курицын Д.Н.* Автоматизация задач экспертного оценивания в процедурах технологического менеджмента авиационного производства.// Научные труды (Вестник МАТИ). – 2012, Вып. 19 (91). – С. 162-173.

УДК 65.012.122

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ PLM-СИСТЕМ

Ольга Викторовна Эристова

Магистр 2 года,
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»
Московский политехнический университет

Научный руководитель: М.В. Вартанов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»

Готовность производства к изготовлению нового изделия определяется наличием полного комплекта конструкторской и технологической документации. На этапе технологической подготовки производства формируется необходимая информация для обеспечения производственного процесса.

Традиционный подход к технической подготовке производства подразумевает работу с документацией в бумажном виде. Это не позволяет своевременно реагировать на проведение изменений в процессе вывода изделия в производство, способствует усложнению отслеживания истории на всех этапах жизненного цикла продукции. Т.к. в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства многократно возрастают объемы обрабатываемой технической информации, усложняются процедуры управления изменениями.

Этап проектирования технологических процессов механообработки трудно реализуем в автоматизированных системах проектирования. Был проведен анализ существующихPLM-систем. Большинство существующих систем проектирования предлагают технологу проектирование технологического процесса в диалоговом режиме, когда система выступает в качестве автоматизированного справочника.

Проведен анализ деятельности предприятия с мелкосерийным многономенклатурным характером производства. Определены задачи управления процессами технологической подготовки производства с использованием концепции PLM. Сформулирован процесс интеграции автоматизированных инженерных систем в единую информационную среду с целью обеспечения сквозного процесса подготовки производства и задач сопровождения ЖЦИ.

Опираясь на критерии, условия и требования к производственным процессам производства технически сложного изделия разработана система автоматизированной технологической подготовки производства. В состав системы вошли процессы управления данными об изделиях, управления электронным архивом конструкторско-технологической документации, управления потоком работ, планирования и управления процессами инструментальной подготовки производства.

Полноценный эффект от автоматизации производственных процессов может быть достигнут за счет информационной интеграции данных на всех этапах жизненного цикла за счет их многократного использования в едином информационном пространстве предприятия.

За счет применения системы, основанной на PLM-концепции, планируется достигнуть: сокращения затрат на подготовку технической и эксплуатационной документации; сокращения доли брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкцию до 30%; сокращение трудоемкости процессов технологической подготовки и освоения новых изделий.

Литература

1. *Евгенев Г.Б.* Основы автоматизации технологических процессов и производств: учебное пособие: в 2 т.. – М.: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2015.
Т.2: Методы проектирования и управления – 2015. -479с.

2. *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.

УДК 621.833.2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Ян Гуанжун

Студент 5 курса, магистр 1 года,
кафедра «Технологии машиностроения»
Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Зайцев А.В.,
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Перед тем, как рассмотреть вопрос обеспечения точности конических зубчатых колес, необходимо, во-первых, разобрать их классификацию и область применения. Затем проанализировать технические требования, предъявляемые к коническим зубчатым колесам. После чего разобрать методы обеспечения точности конических зубчатынх колес с круговыми и прямыми зубьями.

Различают несколько видов конических зубчатых колёс, отличающихся по форме линий зубьев: с прямыми, тангенциальными, круговыми и криволинейными зубьями.

Для любого зубчатого колеса в соответствующих степенях точности установлены нормы точности трех видов: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев.

Точность конических зубчатых колес, обеспечивают выбором соответствующего метода нарезания колеса, зависящего, кроме требований к точности, от материала детали и вида заготовки. Кроме этого необходимо подобрать станок и режущий инструмент соответствующей точности.

Принципиально все способы нарезания конических колес можно свести к двум технологическим методам: обкатки и копирования.

При нарезании по методу обкатки сопряженные поверхности зубьев получаются в результате зацепления нарезаемого зубчатого колеса с производящим колесом, роль которого выполняют режущие кромки инструмента.

Метод копирования применяется при нарезании сравнительно грубых передач, так как имеются трудности изготовления точного инструмента с фасонным профилем.

Контроль зубчатых колес является трудоемкой и сложной задачей, требующей специальных устройств. Для неответственных передач часто обходятся только контролем пятна контакта и шумом в зацеплении.

Исправление неправильно расположенной зоны касания можно выполнять как при помощи наладки станков, так и при помощи регулировки самого зацепления.

Выводы

1. Нормирование требований к точности конических зубчатых колес предполагает задание большого числа трудноконтролируемых параметров.

2. Контроль неответственных передач часто ограничивают контролем пятна контакта и шумом в зацеплении.

3. Обеспечение точности конических зубчатых колес осуществляется не только механической обработкой деталей, но и методом получения исходных заготовок, термической обработкой и сборкой зубчатого зацепления.

Литература

1. Обработка зубчатых колес: учебн. пособие/ сост. *Пегашкин В. Ф.;* М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.
2. Производство зубчатых колес: Справочник / *С. Н. Калашников, 1180 А. С. Калашников, Г. И. Коган и др.; Под общ.ред. Б. А. Тайца*.- 3-е изд., перераб. и допол.-М.: Машиностроение, 1990.-464 с. : ил.
3. *Антонюк В.Е.* Технология производства и методы обеспечения каче-ства зубчатых колес и передач. Учебное пособие. */ В.Е. Антонюк, М.М. Кан-не, В.Е. Старжинский и др*. – Мн.: УП «Технопринт». 2003. – 766 с.
4. *А.С. Калашников.* Технология изготовления зубчатых колес. / *А.С. Калашников.* - М.:

Секция IV

Метрология и взаимозаменяемость

Председатель: **Пронякин Владимир Ильич**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость» (МТ-4)

Ученый секретарь: **Комшин Александр Сергеевич**
кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-4

УДК 620.192.6

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Наталья Андреевна Андронова[(1)], Михаил Михайлович Чухнин [(2)]

Студент 6 курса, магистр 2 года[(1)], студент 3 курса,бакалавриат [(2)]
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.В. Обухов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

В представленной работе обсуждается электроемкостной метод неразрушающего контроля адгезионных соединений. Данный метод используется для измерения емкости между двумя склеенными металлическими пластинами, и обнаружения места непроклея (Рисунок 1).

Рис. 1. Электроемкостной метод.

Электроемкостной метод обладает рядом преимуществ по отношению к другим методам неразрушающего контроля: высокая точность и простота измерений, безопасность для здоровья рабочих, малая стоимость и т.д.

Две пластинки, склеенные клеем, являются конденсатором, у которого можно измерить ёмкость. Классическая формула ёмкости для плоского конденсатора: $C_к = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$, где ε - диэлектрическая проницаемость; ε_0 - электрическая постоянная [Ф/мм];S- площадь обкладок конденсатора [мм^2];d- расстояние между обкладками (толщина клея) [мм].

В связи с этим, выявлены основные факторы, влияющие на прочность клеевого соединения: шероховатость поверхности, толщина клеевого шва, площадь контакта образцов. Для проведения испытаний взяты образцы из материала Сталь 3 и Д16. На момент написания данной статьи, испытания на образцах из материала Д16 проведены не были, а полученные результаты по образцам Сталь 3 представлены ниже.

В ходе работы проанализирована шероховатость каждого образца (рисунок 2), затем образцы склеивались, и измерялась толщина (рисунок 3) и площадь клеевого шва каждого образца. У полученных образцов измерена ёмкость (рисунок 4) и сопротивление (рисунок 5), далее образцы подверглись контролю методом механического разрушения на сдвиг (рисунок 6,7).

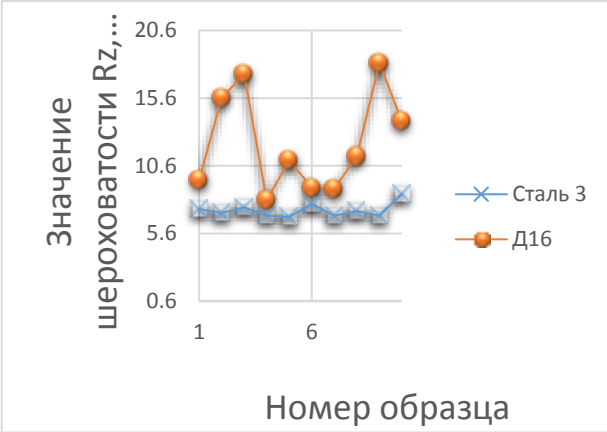


Рис. 2. График шероховатости образцов

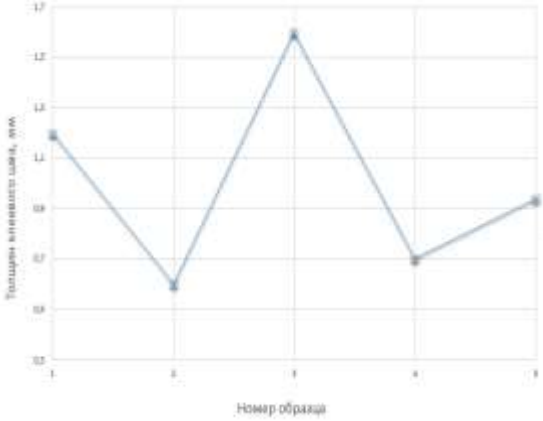


Рис. 3. Толщина клеевого слоя склеенных образцов

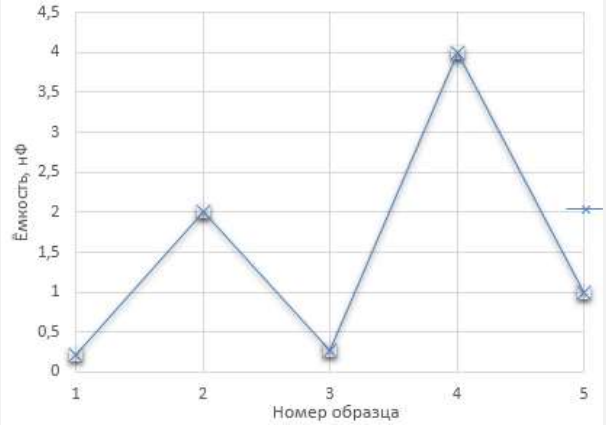


Рис. 4. График ёмкости

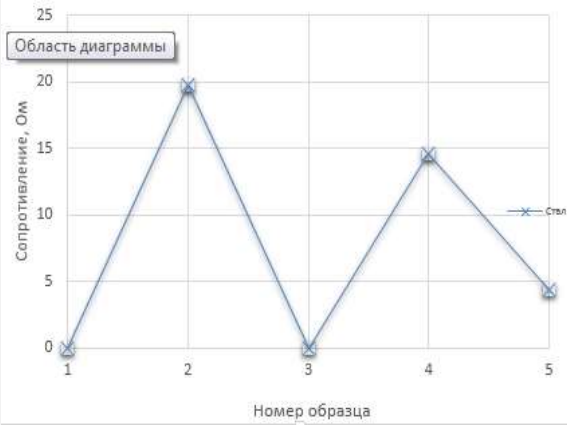


Рис. 5. График сопротивления

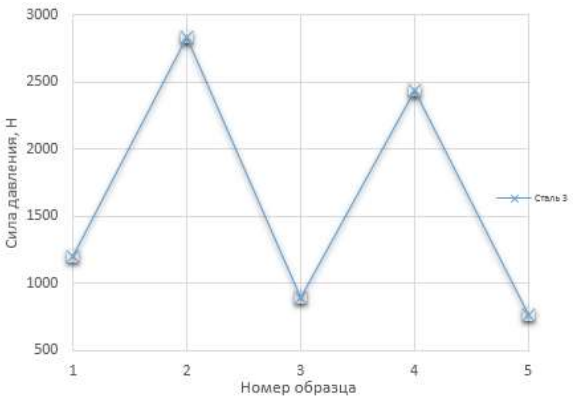


Рис. 6. График силы давления

По данным эксперимента сделан вывод, что емкостной метод позволяет достаточно точно определить непроклеи в образцах. У образцов с наибольшей емкостью слой адгезива более равномерный и непроклея не наблюдалось, как следствие, нагрузка, которую выдержали данные образцы, значительно больше, чем у остальных образцов. При проведении эксперимента наблюдалась повторяемость результатов, что подтверждает возможность использования емкостного метода в современном машиностроении.

Литература

1. *Басин В.Е.* Адгезионная прочность.- М.: Химия,1981- с. 208.
2. *Власенко Е.А., Зенкин А.С., Оборский И.Л.* Влияние формы микронеровностей склеиваемых поверхностей на прочность клеевых соединений. // Известия ВУЗов. Машиностроение.- 1998.- №6.- с. 16- 18.
3. К.т.н., доцент *Игнатов А.В.,* К.т.н., доцент *Комшин А.С*., Ассистент *Потапов К.Г.* Контроль сборки клеевых соединений на основе электрорезистивных и электроемкостных методов измерений.- МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

УДК 53.086, 621.313.333

ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОГО СТЕНДА НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Анастасия Алексеевна Крансуцкая[1], Кирилл Сергеевич Ермаков [2]

Магистр 1 года [1], магистр 2 года [2]
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 асинхронные электродвигатели являются потребителями более 70% всей электроэнергии в стране. Опыт эксплуатации говорит о большом количестве отказов. Авария электродвигателя приводит к значительным экономическим потерям. Также к экономическим потерям добавляется снижение электро- и пожаробезопасности, которое связанно с возможными различными дефектами. Обнаружение дефектов в работающем электродвигателе на ранней стадии их развития не только предупредит внезапную остановку производства в результате аварии, но и значительно снизит расходы на ремонт электродвигателя и увеличит срок его службы[1].

Таким образом, в данной работе рассматривается разработанный фазохронометрический стенд, представленный на рисунке 1, и варианты его применения, а также результаты проведённого эксперимента, целью которого было выявить, насколько отличаются параметры трех установленных на него электродвигателей. Один из электродвигателей отслужил примерно половину своей наработки на отказ, один из двух новых электродвигателей подвергался механическому воздействию и один совершенно новый электродвигатель АИР 56В2У3.

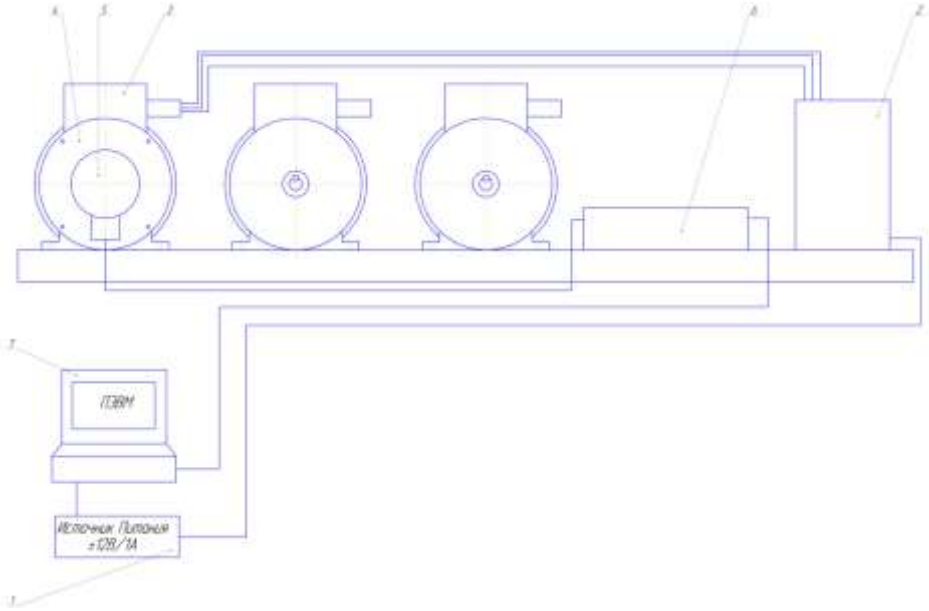


Рис.1. Фазохронометрический стенд:
1 – Источник питания, 2 – Частотный преобразователь, 3 – Электродвигатель АИР 56В2У3, 4 – Оснастка для крепления датчика, 5 – Энкодер ЛИР 158А, 6 - фазохронометрический измерительный модуль

В основу стенда для получения информации о функционировании механической части электродвигателя положен фазохронометрический метод. При использовании данного метода информация об объекте содержится в вариациях продолжительности временных интервалов, соответствующих прохождениям интервалов (квантов) фазы. Вследствие погрешности сборки электродвигателя, непостоянства сил, воздействующих на вал электродвигателя и др., в вариациях продолжительности временных интервалов содержится информация о техническом состоянии электродвигателя, которая может быть использована для выявления дефектов как механической, так и электрической части электродвигателя [2-3].

В ходе работы были оценены математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, максимальные и минимальные значения приращения интервалов времени для соответствующих частот 5, 15, 25, 35, 45 Гц, выбранных в качестве параметров при которых проводился эксперимент.На основе полученных результатов были построены следующие графики, представленные на следующих четырех рисунках.

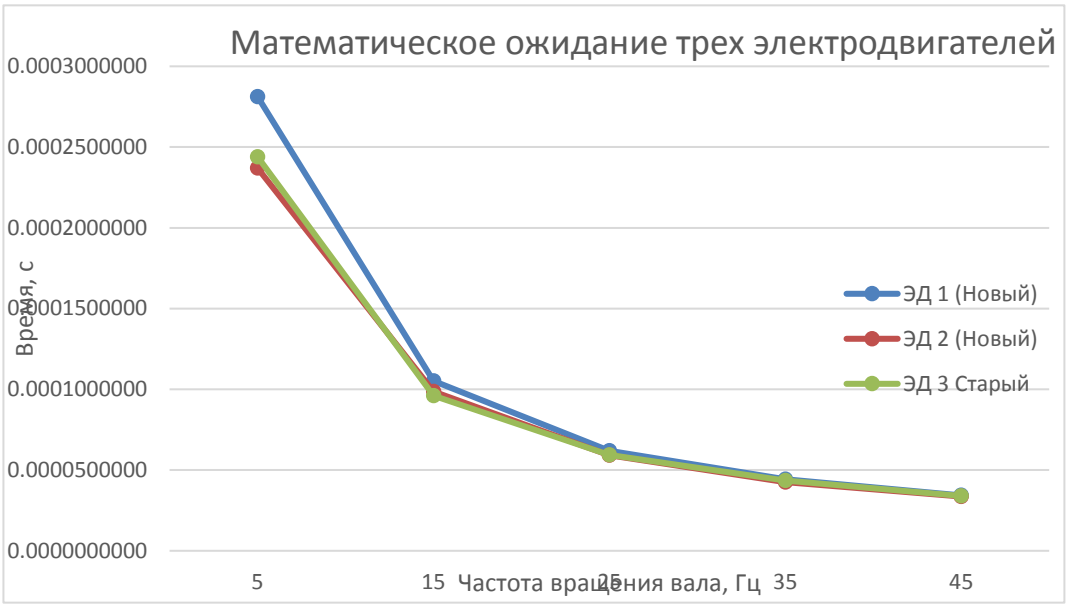


Рис.2. Математическое ожидание трех электродвигателей

На графике рисунка 2 видно, что наибольшее среднее значение при частоте вращения 5 Гц у нового электродвигателя, который подвергался механическому воздействию. Так же на линейчатой диаграмме, представленной на рисунке 3, отчетливо видно, что новый электродвигатель, подвергавшийся механическому воздействию, так же имеет среднее значение приращения интервала больше, чем у нового электродвигателя, который не подвергался механическим воздействиям и старого электродвигателя на всех частотах вращения.

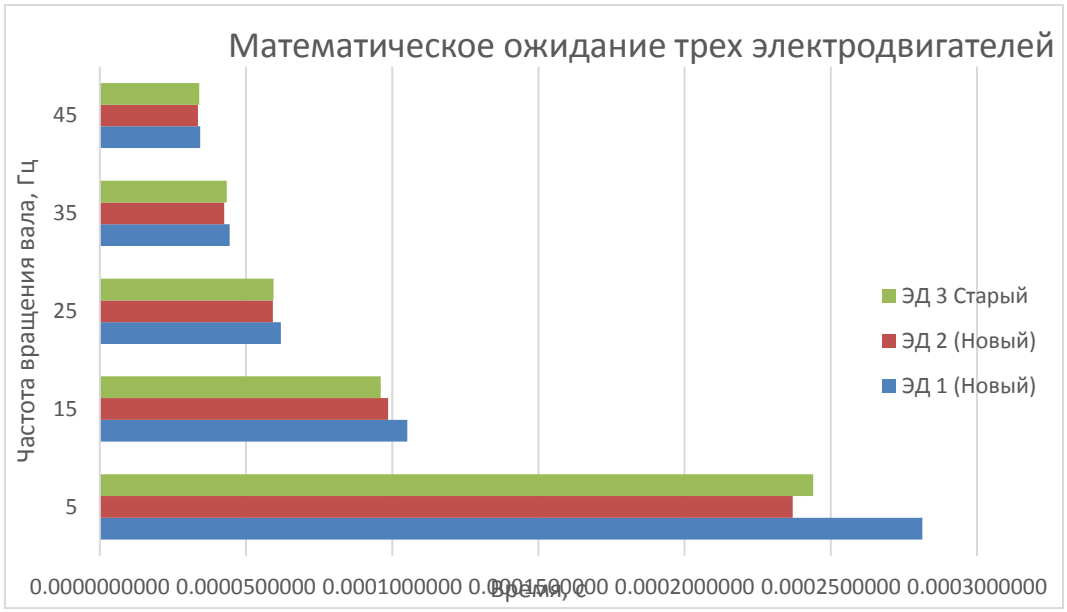


Рис.3. Линейчатая диаграмма

Так же были построены график максимальных и минимальных значений приращения интервалов времени для всех трех электродвигателей.

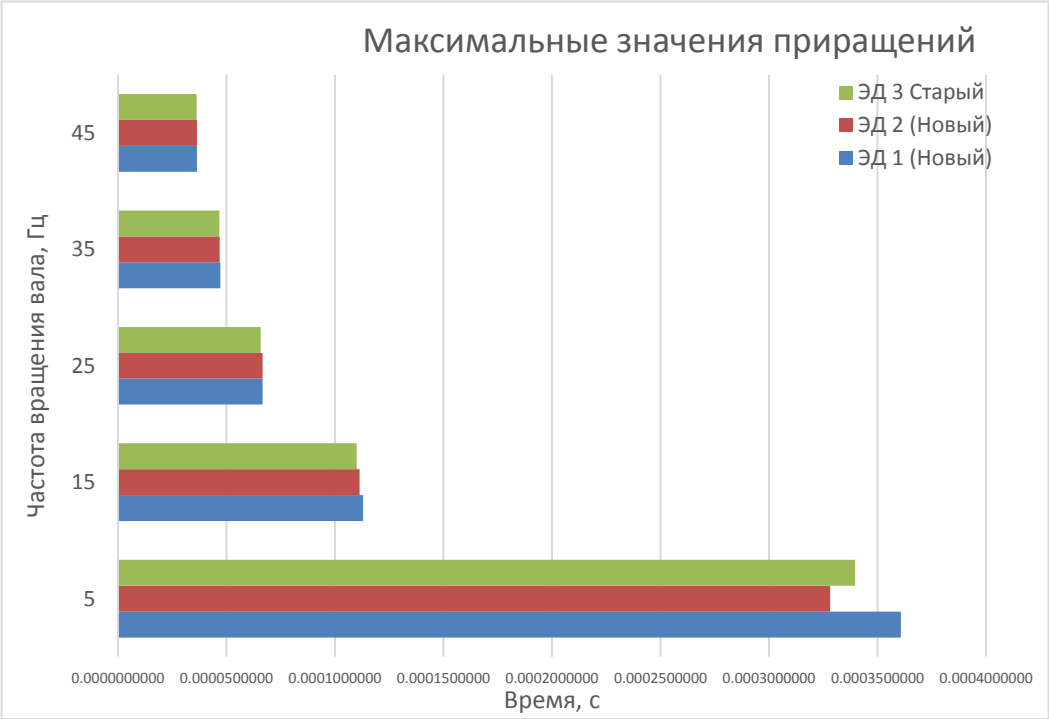


Рис.4. Линейчатая диаграмма максимальных значений приращения интервалов времени для трех электродвигателей

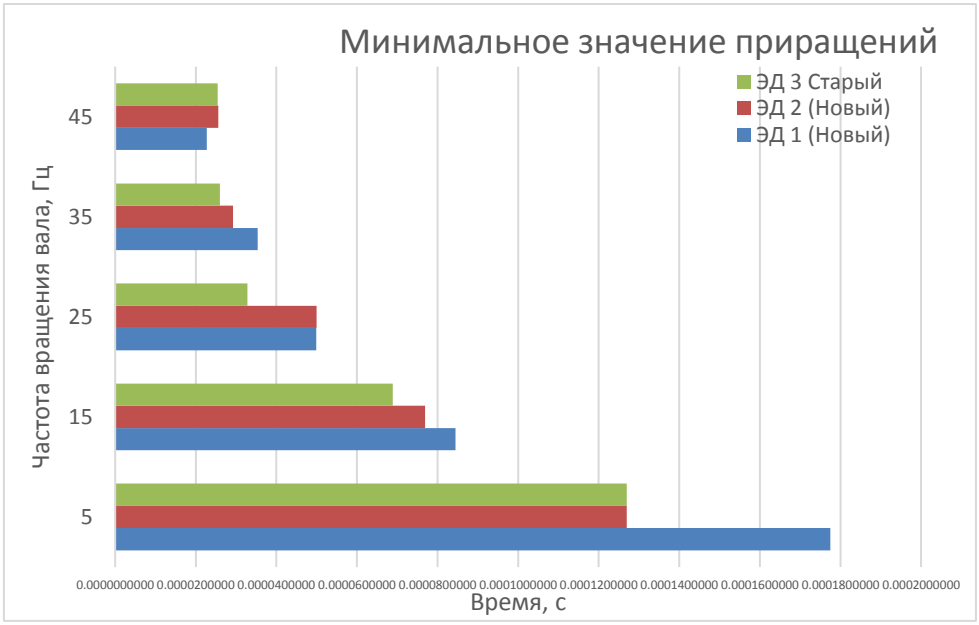


Рис. 5. Линейчатая диаграмма минимальных значений приращения интервалов времени для трех электродвигателей

Из диаграмм на рисунках 4 и 5 видно, что максимальные значения приращений у всех трех электродвигателей примерно равны при частоте 45 Гц. Так же очевидно, что новый электродвигатель, который подвергался механическому воздействию в, большинстве случаев имеет наибольшие значения приращения интервалов времени при разных частотах вращения вала электродвигателя, что позволяет сделать вывод о не правильном функционировании данного электродвигателя и предположить, что в данном электродвигателе уже существует дефект.

На основе существующего фазохронометрического стенда, предназначенного для сравнения технического состояния асинхронных электродвигателей, предлагается рассмотрение ещё одной немаловажной задачи исследования и диагностики подшипников качения.

Наиболее распространённый критерий отказа подшипникового узла общего применения, работающего в автомобилях, тракторах, насосах, редукторах, станках, подъёмно-транспортном оборудовании, – усталостное разрушение. Базой для достоверного расчёта подшипникового узла является эксперимент. Однако экспериментальный путь улучшения характеристик подшипникового узла не всегда возможен. Причина в том, что подшипниковый узел имеет сотни параметров, влияющих на эксплуатационные характеристики, и планируемый эксперимент, направленный на улучшение характеристик, достаточно долго и длительно. Например, для некоторых высокоточных подшипниковых узлов циклы сборки и разборки узла занимают несколько месяцев. Поэтому основным инструментом расчёта и усовершенствования опоры качения является построение и исследование его математической модели, опирающейся на некоторые базовые эксперименты [3].

Для проведения подобного базового эксперимента предлагается вариант применения уже существующего стенда. В новую конструкцию стенда (рисунок 6) добавляется опора качения, исследование которой поможет получению уточняющей информации для математической модели.

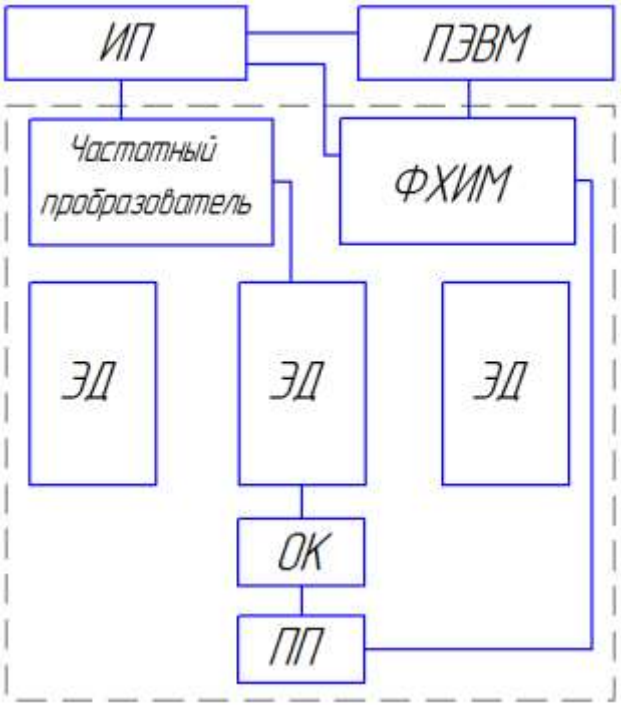


Рис. 6. Структурная схема новой конструкции:
ЭД – электродвигатель, ОК – опора качения с исследуемым подшипником, ПП – измерительный преобразователь, ФХИМ – фазохронометрический измерительный модуль, ПЭВМ – персональный компьютер, ИП – источник питания

Результаты эксперимента по идентификации технического состояния электродвигателя, полученные на данном стенде,позволяют исключить дефекты в механической части привода при исследовании опоры качения и сконцентрировать внимание на дефектах подшипника.

В ходе работы был осуществлён эксперимент, проведено сравнение математических ожиданий, среднеквадратических отклонений, максимальных и минимальных значений приращения интервалов времени для различных частот, выявлено, что в одном из электродвигателей уже существует дефект. Вместе с тем, был предложен вариант применения данного фазохронометрического стенда для исследования и диагностики подшипников качения.

Литература
1. *Сидельников Л.Г., Афанасьев Д.О.* Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. № 7. С. 127-137.
2. *Бережко И.А., Гостюхин О.С., Комшин А.С.* Информационные измерительные фазохронометрические системы для диагностики в области электроэнергетики // Приборы. 2014. № 5. С. 13-17.
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.
4. *Галахов М.А., Бурмистров А.Н.* Расчёт подшипниковых узлов. М.: Машиностроение, 1988 – 272 с.

УДК 53.083.91

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дмитрий Дмитриевич Болдасов

Магистр 1 года,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Для решения задачи исследования износа токарного инструмента был разработан прототип фазохронометрической системы диагностики. Однако, прототип имеет недостатки, которые на уровне промышленного образца необходимо устранить, поэтому необходимо рассмотреть варианты устранения выявленных недостатков и современные способы реализации системы на промышленном уровне.

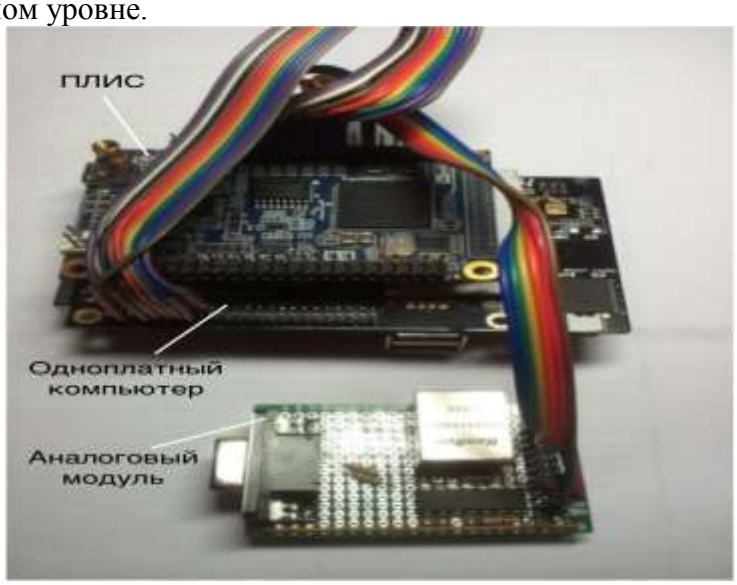


Рис. 1. Прототип системы

В разработанном прототипе навесного типа (Рис. 1) аналоговый модуль с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) и ПЛИС с одноплатным компьютером соединяются посредством периферийных шин данных. Такая реализация

обеспечивает работу на относительно низких частотах, однако, она не способна обеспечивать стабильную работу системы на относительно высоких частотах. Используемые шестнадцатиразрядные шины способны выполнить данную задачу, но при увеличении частоты (или объема данных, передаваемых по шине) необходимо увеличивать разрядность шины в несколько раз. При производстве промышленного прототипа большое количество проводов в шине не используется по причинам высокой стоимости и сложности реализации [1]. Также значительной проблемой при реализации передачи большого потока высокочастотных сигналов в шине является возникновение паразитных емкостей и индуктивностей.

Подобно обычному конденсатору, образованному двумя параллельными пластинами, паразитная емкость образуется каждый раз, когда два проводника расположены близко друг к другу, особенно, когда они параллельны, при этом не соединены между собой.

В случае периферийной шины пары проводов образуют конденсаторы, подключенные параллельно.Очевидно, что при увеличении частоты уменьшается емкостное сопротивление. Как правило, проявление паразитной емкости, особенно на высоких частотах, может вызвать серьезные проблемы при настройке устройства. В качестве примеров сбоя работоспособности схемы, вызванных паразитной емкостью, можно привести повышение уровень шума, снижение частотного диапазона устройства и нестабильность. Строго говоря, паразитную емкость полностью устранить не возможно [2].

Также в проводнике при прохождении через него тока возникает индуктивное сопротивление, следовательно, при увеличении частоты увеличивается реактивное сопротивление, на больших частотах реактивное сопротивление вносит весомый вклад в искажение передачи сигнала.

Также следует отметить, что само по себе применение «длинных» шин не эффективно с точки зрения передачи сигнала. Также следует отметить, что физическое исполнение интерфейса подключения периферийной шины к плате также может являться источником искажения сигнала.

Подобные навесные исполнения не реализуются на этапе производства, а служат лишь для тестирования системы и выявления ошибок. Используя прототип, удалось доказать работоспособность системы и ее реальное соответствие требованиям задачи. Тем самым необходимо рассмотреть возможные варианты реализации системы на дальнейшем этапе (образец системы промышленного исполнения) с учетом требований к системе по точностным характеристикам и устранения недостатков системы, обнаруженных на этапе прототипирования.

Проведя анализ недостатков прототипа и существующих методов реализации системы в железе, принято решение реализовать ее в следующем исполнении. Использование готовых модулей позволяет сократить время разработки и удешевить производство, а реализация системы на одной микросхеме позволяет устранить недостатки прототипа, так как подобная схема позволяет разместить основные части системы в пределах нанометровых расстояний друг от друга. Также это позволить сделать систему универсальной по типу входного сигнала, так как за прием разных типов сигнала отвечают специализированные модули (в примере с угловым энкодером в качестве первичного преобразователя этим модулем выступает блок компараторов).Структурная схема разрабатываемой системы представлена на Рис. 2.

Предлагаемый вариант реализации обладает следующими преимуществами:

1) высокая энергоэффективность
2) достаточная скорость по частоте (система способна поддерживать частоту на уровне от 2 ГГц)
3) высокая производительность
4) широкая номенклатура изделий (как ПЛИС, так и процессоров, также и готовых решений)

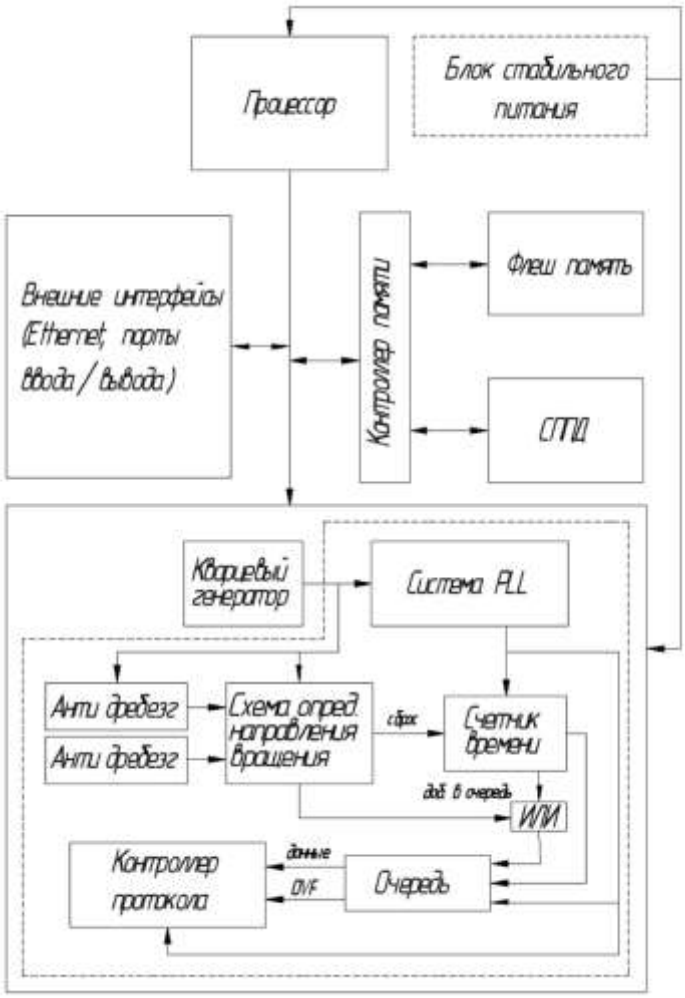


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемой системы

В вопросе выбора технических средств реализации на данный момент рассматриваются продукты компании Altera, например, ПЛИС AlteraCycloneV. Она представляет собой одноплатный компьютер, оснащенный ПЛИС и контроллером реального времени и подходит для создания встраиваемых одноплатных систем сбора данных, цифровой обработки сигналов и управления.

Литература

1. *Эверитт, Л.В.* Основы радио и электроники / Л.В. Эверитт.- 2-е изд.- М.: Профтехиздат, 1963.- 804 с.
2. *Овчинников В.А., Васильев А.Н., Лебедев В.В.* Проектирование печатных плат: Учебное пособие / В.А. Овчинников, А.Н. Васильев, В.В. Лебедев.- 1-е изд.- Тверь: ТГТУ, 2005. 116 с.

УДК 520

ПРОБЛЕМЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА БТА

Капитолина Игоревна Короткова

Магистр1 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»

В настоящее время потребность человеческого общества состоит в новых фундаментальных открытиях, ведь объем информации, получаемой из космоса, составляет всего 4%[1]. Повышение уровня космических исследований зависит от многих факторов, одним из которых является совершенствование телескопов.

Крупнейшим в Евразии телескопом является Большой телескоп Альт-Азимутальный (БТА) с диаметром главного оптического зеркала 6 м и массой 42 т. Однако, данный телескоп не является лучшим, так как его эффективность, оцененная с помощью инварианта информативности Сычева [2], соответствует телескопам, размеры которых намного меньше.

Главным фактором, ухудшающим качество работы БТА, являются температурные неоднородностиэлементов телескопа, включая главное зеркало, вызванные изменением температуры наружного воздуха и подкупольного пространства. Они влекут за собой температурные деформации главного зеркала, которые из-за массы в 42 тонны являются существенными, из-за разницы температур в самом зеркале. Помимо температурных деформаций при изменениях наружной температуры добавляется проблема турбулентности атмосферывокруг массивного зеркала с большой температурной инерционностью, а также конвекционных явлений на поверхности зеркала.При этом допустимые отклонения формы поверхности от ее теоретического вида не должны превышать для видимой области спектра $\lambda/20$, обеспечение этого требования рождает большие технические проблемы в части их реализации.

Данные проблемы решаются путем, описанным в [3], а именно:

1) минимизации влияния искажающих факторов;
2) динамической стабилизации параметров оптической системы;
3) использования методов и средств адаптивной оптики.

Литература

1. *Гилмоци Р.* Телескопы будущего* // В мире науки. 2006. № 8. 26- 33с.
2. *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
3. *Сычев В.В.* Адаптивные оптические системы в крупногабаритном телескопостроении: монография. Старый Оскол: Изд-во «Тонкие наукоемкие технологии», 2005. 55-60с.

УДК 621.77.08

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Ксения Михайловна Куропаткина

Студент 6 курса, магистр 2 года,
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»

В настоящее время актуальными тенденциями в развитии листопрокатного производства являются уменьшение допускаемых отклонений по длине и ширине листов, а также повышение требований к их плоскостности.

Процесс холодного проката обеспечивает получение продукции высокого качества по всем показателям - точность размеров, качество поверхностного слоя, физико-механические свойства, высокие эксплуатационные свойства, устойчивость к термической деформации во время сварки. Это позволяет широко применять холоднокатаный прокат, как в черной, так и в цветной металлургии. Поэтому важен вопрос контроля геометрических параметров листового проката.

В основу системы контроля толщины холоднокатаных листов положен триангуляционный способ измерения толщины изделия.

Данная система действует следующим образом. Толщина полосы контролируется при помощи лазерных триангуляционных датчиков, которые закреплены по обе стороны от листа. На лист с двух противоположных сторон направляют пучки излучения с помощью источников излучения, далее позиционно-чувствительные фотоприемники оптических систем принимают отраженные от изделия излучения. Затем путем измерения координат световых пятен на позиционно-чувствительных фотоприемниках определяют расстояния от центров соответствующих оптических систем до поверхности изделия.

Показания толщины после измерения сравниваются с заданной уставной толщиной, и в зависимости от отклонения формируется управляющий сигнал на измерение зазора в клети с целью предотвращения брака. Этот сигнал отрабатывается через систему регулирования давления в гидроцилиндре.

Наряду с методами контроля готовых холоднокатаных листов необходимо осуществлять контроль элементов конструкции стана для предотвращения возможных дефектов, которые могут возникать из-за ее несовершенства.

С этой целью разрабатывается система по контролю смещения валков прокатного стана в угловом и осевом направлении. Для ее реализации необходимо использовать датчики, которые позволяют измерить расстояния в осевом направлении, а также угловые инкрементальные энкодеры, которые предназначены для определения угла поворота вращающихся объектов.

Совокупность работы этих датчиков позволяет определить, при каком положении рабочего валка возникает его осевое смещение и какой величины, которое может привести к браку холоднокатаной полосы.

Таким образом, в работе представлена система измерения толщины холоднокатаных листов на базе триангуляционного способа контроля толщины, а также спроектирована система контроля осевого и углового перемещения валков стана.

Литература

1.*Шефтель Н. И.*Холодная прокатка листовой стали. – М.: Металлургия, 1966. –324с.
2. *Приходько И.Ю., Сафьян А.М., Куцин В.С.* Совмещённое регулирование толщины, натяжения и плоскостности полос при холодной прокатке современными средствами регулирования с учётом скоростных характеристик исполнительных механизмов// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 2. – С. 32-35.
3. *Восканьянц А.* Автоматизированное управление процессами прокатки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 85 с.
1. *Коновалов Ю.В.* Справочник прокатчика. Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос. Справочное пособие в 2-х томах. – М.: Теплотехник, 2008. – 608 с.

УДК 621.757

РЕШЕНИЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МЕТОДОМ МЕЖГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Анна Сергеевна Лопатина

Магистр 1курса,
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 процессе изготовления изделий, состоящих из нескольких деталей, особое место занимают сборочные операции. Качество сборки в первую очередь определяет эксплуатационные свойства изделий и степень их надежности.

В настоящее время метод межгрупповой сборки деталей [1], подразумевающий использование селективной сборки, является наиболее перспективным, т.к. обеспечивает повышенную точность сопряжений при заданной точности сопрягаемых параметров. Здесь основной эффект достигается за счет высокой точности измерений параметров комплектующих деталей.

В соответствии с технологией селективной сборки поля допусков на сопрягаемые параметры комплектующих деталей разбивают на селективные интервалы. Детали, значения сопрягаемых параметров которых относятся к одному селективному интервалу, образуют селективную группу. В пределах каждой группы все детали считаются взаимозаменяемыми. Сборочные комплекты составляют из деталей, принадлежащих селективным группам.

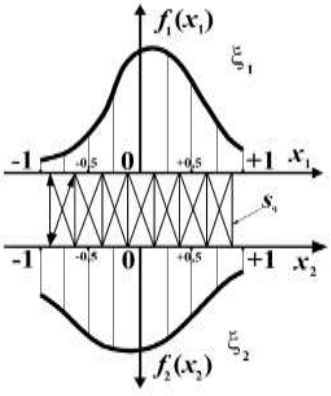


Рис. 1. Метод межгрупповой взаимозаменяемости

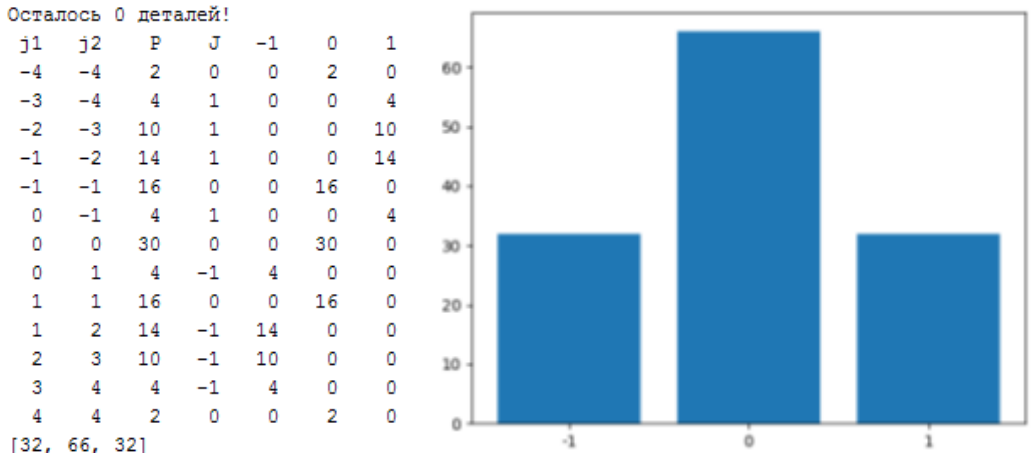
Из рисунка 1 видно, что каждая селективная группа поля допуска вала имеет несколько связей с селективными группами поля допуска втулки. Сборочный комплект может быть получен из деталей, взятых из разноимённых селективных групп. Данный сборочный комплект определяет связь этих двух селективных групп или путь получения сборочного комплекта, или путь комплектования деталей для получения сборочного комплекта.

Для автоматизации данного метода была разработана программа на языке программирования Python, которая позволяет комплектовать детали, исходя из их количества и заданного допуска.

В качестве постановки задачи рассматривается сборка 130 деталей типа «вал-втулка» с допуском ±4. Исходные данные представлены на рисунке 2.

Рис. 2. Постановка задачи

Алгоритм по методу межгрупповой взаимозаменяемости осуществляет комплектование деталей таким образом, что сборка осуществлена в допуски (J) 1, 0, -1, как видно на рисунке 3, и P характеризует количество собранных комплектов. Лишние детали отсутствуют.



Осталось 0 деталей!

j1	j2	P	J	-1	0	1
-4	-4	2	0	0	2	0
-3	-4	4	1	0	0	4
-2	-3	10	1	0	0	10
-1	-2	14	1	0	0	14
-1	-1	16	0	0	16	0
0	-1	4	1	0	0	4
0	0	30	0	0	30	0
0	1	4	-1	4	0	0
1	1	16	0	0	16	0
1	2	14	-1	14	0	0
2	3	10	-1	10	0	0
3	4	4	-1	4	0	0
4	4	2	0	0	2	0

[32, 66, 32]

Рис. 3. Результат работы программы

Таким образом, произведена автоматизация метода, т.е. ускорение расчетов, которые позволяют осуществлять сборку изделий несколькими вариантами получения сборочных комплектов для селективной группы, что позволяет избежать незавершенного производства и дает возможность сборки изделий в более строгий допуск, что соответственно приводит к повышению точности комплектования.

Литература

1. *Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.* Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий. – М.: Сборка в машиностроении, приборостроении, № 8, - 2011, с. 75-82.

УДК 621.771.06

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОСЕВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВЕДУЩЕГО ВАЛА ШЕСТЕРЕННОЙ КЛЕТИ ТРИО

Алиса Андреевна Лукьянчик

Студент 4курса
кафедра «Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,
ассистент кафедры «Метрология, стандартизация и взамозаменяемость»

Цель работы заключается в разработке системы измерительного контроля, методологии и измерительных технологий информационно-метрологического сопровождения прокатных станков, позволяющих с высокой точностью осуществлять мониторинг фактического состояния шестеренной клети ТРИО непосредственно в процессе работы.

В условиях изменения технического состояния прокатных станов, обусловленного физическим износом и исчерпанием сроков службы, актуальной является задача обеспечения требуемого уровня исправности и безопасности использования. На начальном этапе путями обеспечения исправности является выполнение модернизации в комплексе с работами по продлению установленных показателей, а в перспективе переход на эксплуатацию по техническому состоянию.

Объектом исследования является шестеренная клеть ТРИО.Шестеренная клеть ТРИО предназначена для прокатки профильного проката.Управление клетью – ручное с существующего поста управления. Режим работы – длительный, нереверсивный.Вид клети представлен на Рисунке 1.

Рис. 1. Вид шестеренной клети

В работе была разработана информационно-измерительная система. Система для анализа технического состояния шестеренной клети предназначена для измерения осевых и угловых перемещений ведущего вала, а также проведения сбора и оформления информации в виде таблиц и графиков.Схема работы системы представлена на Рисунке 2.

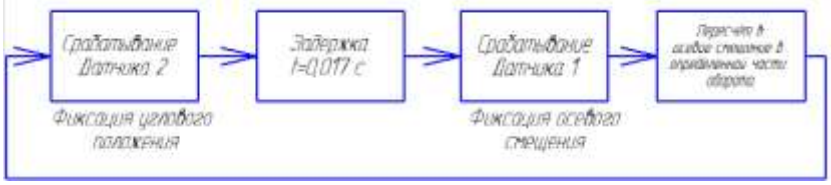


Рис. 2. Схема работы измерительной системы

В качестве компонентов в измерительном канале используется два индуктивных датчика контроля перемещения IME 12. Первым при отклонении валопровода от оси срабатывает

датчик №2. Он фиксирует угловое положение головки болта зубчатой муфты. Далее в системе происходит задержка по времени t=0,017 с. Это время, за которое происходит смещение муфты на 22,5^{o} . Далее происходит процесс срабатывания датчика № 1. Данный датчик фиксирует осевое смещение валопровода. Максимальная амплитуда наблюдается в момент прохождения головки болта мимо датчика.

Индуктивные датчики – это устройства предназначенные для контроля положения объектов из металла. Индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижной элемент которого, а именно якорь, перемещается под воздействием измеряемой величины. Вследствие изменения воздушного зазора в магнитопроводе изменяется его магнитное сопротивление и, следовательно, индуктивность катушки. Для измерений катушку включают в измерительную схему постоянного или переменного тока, у которой указывающий элемент проградуирован в единицах измеряемой величины.

Разработанная система даст возможность проводить непрерывный контроль перемещений валопровода, что приведет к повышению качества контроля технологического процесса и в перспективе позволит контролировать текущее состояние шестеренной клети.

Литература

1. *В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. Г.Н.Мельникова.- 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001..: ил.*Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / 564 с
2. *Киселёв М.И., Пронякин В.И.* Информационно-метрологическое сопровождение жизненного цикла функционирующих машин и механизмов// Инженерно-физические проблемы новой техники: Материалы 7-го Всерос. совещания-семинара. М. 2003. С. 8-10.
3. *Обухов И.В.* Математическое моделирование и экспериментальное оценивание случайных погрешностей средств измерений. М.: Радио и связь, 2004. 184 с.
4. *Левин С.Ф.* Лекции по метрологии: Научные основы государственной системы обеспечения единства измерений: Учебно-методическое пособие (17-ая ред.). М.:МИЭИ, 2013. 46 с.

УДК 53.084.823

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОТЛАДКИ И ИСПЫТАНИЙ ФАЗОХРОНОМЕТРОЧЕСКОГО БЛОКА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Елизавета Андреевна Макарова, Анастасия Владимировна Табунова

Студенты 3курса,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Важным аспектом эксплуатации машин и промышленного оборудования является отслеживание состояния деталей и узлов механизмов во время их эксплуатации. Но существует проблема разработки оптимального метода диагностики с точки зрения получения прецизионной измерительной информации и привязки её непосредственно к жизненному циклу машины [1]. При разработках, связанных с фазохронометрией [2,3], возникла потребность в стационарном стенде для отработки работоспособности аппаратной части систем диагностики и обучения специалистов. Поэтому была поставлена задача разработатьподобный стенд с использованием фазохронометрического блока обработки измерительной информации.

Экспериментальный стенд состоит из двух блоков: механической части Рис.1. и блока мониторинга Рис. 2. Механическая часть включает в себя массивное основание с закрепленным в нем двигателем, который с помощью муфты передает вращательное движение на вал с двумя зубчатыми колёсами. Выбор зубчатых колес объясняется тем, что они удобны для моделирования восприятия периодической внешней нагрузки. Блок мониторинга состоит из трех основных модулей: измерительный преобразователь (датчик ЛИР-158А производства ОАО «СКБ ИС»), блок обработки измерительной информации (БОИИ) и подсистема вывода информации на ЭВМ с помощью программного обеспечения.

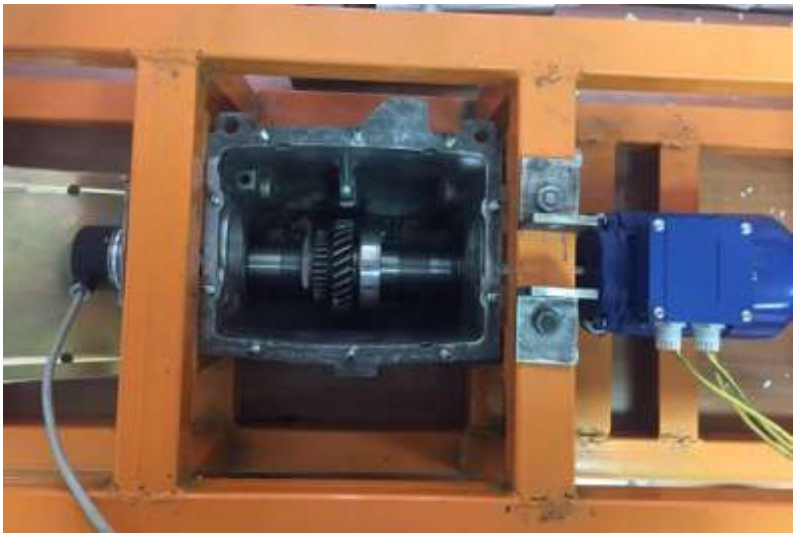


Рис. 1. Экспериментальный стенд

Установленный на шпиндель вала угловой датчик ЛИР 158 вырабатывает аналоговый синусоидальный измерительный сигнал U(t), затем поступающий на вход блока обработки измерительной информации. Подсистема оцифровки сигнала при помощи аналоговых компараторов либо АЦП (аналого-цифровой преобразователь) преобразует аналоговый сигнал в удобный для дальнейшей обработки цифровой вид.

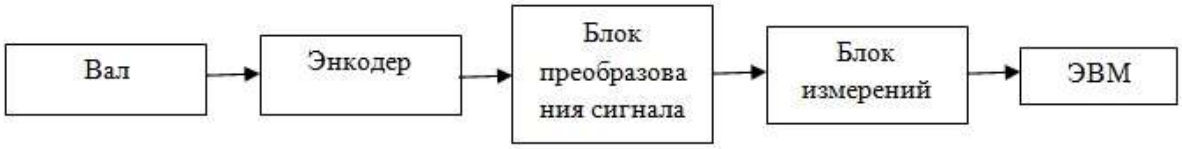


Рис. 2. Схема блока обработки измерительной информации

В ходе эксперимента были проведены четыре испытания: первые два на частоте вращения вала, равной 10 Гц, на холостом ходу и с периодическим внешним воздействием с частотой 270 Гц, вторые два на частоте 15 Гц на холостом ходу и с периодическим внешним воздействием с частотой 405 Гц. В результате были получены прошедшие через блок мониторинга данные, где каждое значение представляет собой время прохождения 1/625 части оборота вала. На измерительный лимб датчика нанесено 625 штрихов, формирующих границы фаз оборота.

Обработка результатов производилась с использованием пакета программного обеспечения MicrosoftExcel. По экспериментальным данным были построены хронограммы Рис 3. Графики холостого хода и воздействия внешней нагрузки размещены на одной координатной плоскости для удобства анализа. Удары имеют большую амплитуду, чем холостой ход. Причём холостой ход имеет определенное верхнее значение амплитуды, за которое не выходит. Была выдвинута гипотеза, что удары можно распознать, как пик, вышедший за пределы амплитуды холостого хода.

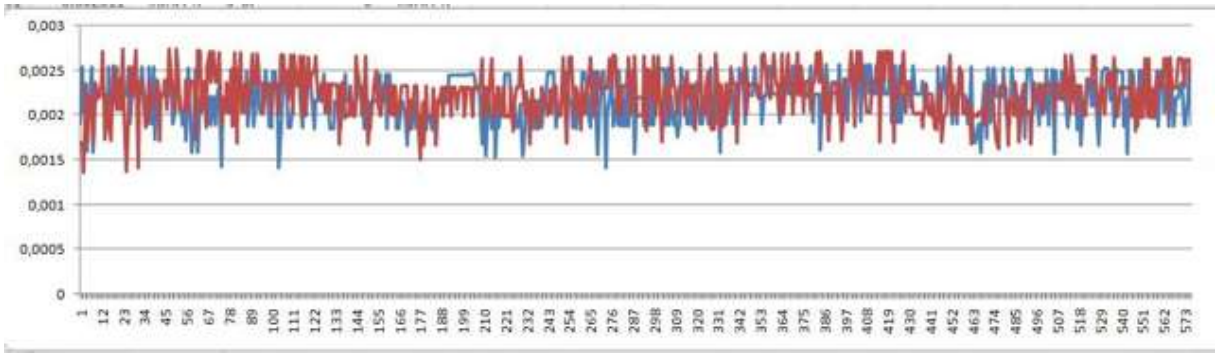


Рис. 3. Хронограмма холостого хода (синий) и воздействия внешней нагрузки (красный) с частотой электродвигателя 15 Гц

В дальнейшем с помощью Фурье-спектров в программном пакете Matlabбудет проведён анализ, подтверждающий наличие ударов.

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. *Киселёв М.И., Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Тумакова Е.В., Умманова О.В., Потапов К.Г., Минязева Л.Х.* Фазохронометрия как основа совершенствования производственных технологий // Наукоемкие технологии. 2016. №9. С. 10 – 15.
3. *Сырицкий А.Б., Болдасов Д.Д.* Фазохронометрическая система мониторинга износа режущего инструмента // Металлообработка. 2015. №5. С. 2 – 10.

УДК 53.084.823

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Дарья Александровна Медведева

Магистр 2 года [(2)]
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Л. Скрипка,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

В настоящее время для ответственных цилиндрических деталей, используемых в гидравлике, авиации, энергомашиностроении, где во многих случаях требования к параметрам отклонения формы достаточно высоки, необходимо проводить контроль всех цилиндрических

поверхностей. Выполнить это существующими контактными и бесконтактными универсальными средствами измерения (СИ) трудоемко и малопроизводительно. На сегодняшний день разработка и усовершенствование высокопроизводительных методов и средств контроля отклонения формы является актуальной задачей.

Существующие оптические методы получения интерференционных картин позволяют за несколько секунд воспроизвести первичную информацию для определения характеристик всей топографической поверхности детали [1]. Анализ показал, что одним из перспективных методов контроля поверхностей прецизионных деталей сложной формы является метод конических зеркал [2]. Сущность этого метода заключается в том, что на выходе получается развертка контролируемой поверхности (интерференционная картина). По форме и изогнутости полос интерференционной картины определяются характеристики контролируемой поверхности, такие как отклонение оси отверстия от прямолинейности и отклонение формы отверстия от окружности. Данный метод может быть применим для деталей простой формы. В случае наличия прерывистых поверхностей или поверхностей сложной формы, которые имеют кривизну в нескольких плоскостях, метод конических зеркал требует усовершенствования.

Был проведен патентный анализ аналогичных методов, и найден патент [3], который был взят за основу работы. На основании данного патента была модернизирована оптическая схема, в которую были введены два сопряженных конических зеркала (рисунок 1), что позволило расширить круг поставленных задач, а именно контролировать более сложные топографические поверхности в т. ч. поверхности, имеющие разрывы. Кроме того, в систему была введена ПЗС-матрица, которая позволяет оцифровывать интерференционную картину и использовать современные алгоритмы обработки данных.

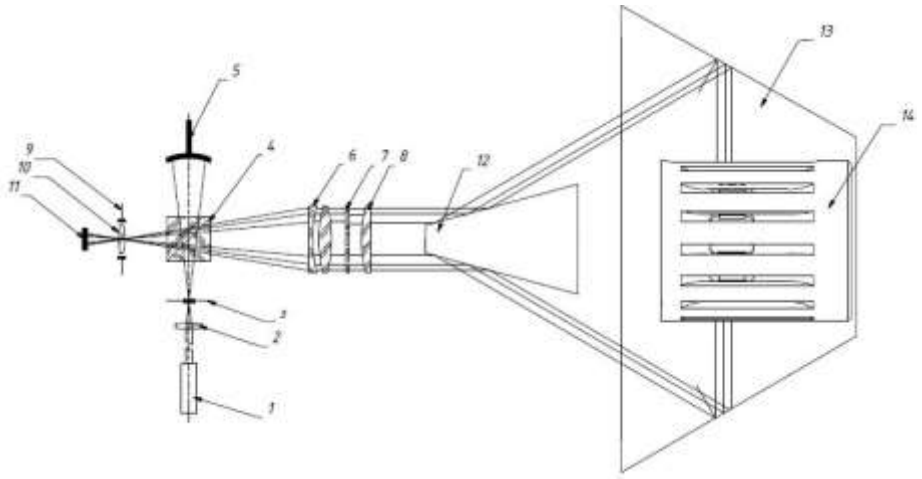


Рис. 1 – Оптическая схема устройства для контроля

Оптический прибор представленный на рисунке 1 работает следующим образом. Пучок света от глеево-неонового лазера 1, проходя систему, представляющую собой микрообъектив 2, диафрагму 3 и светоделительный кубик 4, освещает эталонное сферическое зеркало 5. Лучи, отражаясь от зеркала, попадают на светоделительный кубик, где часть лучей, отражаясь от делительной поверхности кубика, проходят через объектив коллиматора 6, объектив измерительной ветви 7 и плоского вспомогательного зеркала 8, попадают на коническое зеркало 12 и затем на второе зеркало 13, которое формирует кольцевую оптическую метку на контролируемой поверхности детали 14. Отраженные лучи от контролируемой поверхности в обратном направлении попадают на светоделительный кубик, где встречаются, образуя интерференцию. После этого лучи, пройдя через объектив 10, направляются на фотоприемник 11. В качестве фотоприемника используется ПЗС-матрица, которая оцифровывает все расстояния на интерференционной картине, затем данные в оцифрованном виде передается в блок обработки информации (ЭВМ), где применяется современные алгоритмы обработки

информации, которые позволяют повысить точность результатов. В частности, с помощью программных алгоритмов на основе получения интерференционной картины (рисунок 2) методом наименьших квадратов можно определить величину изогнутости полос, т.е. количественно оценить отклонение формы поверхности.

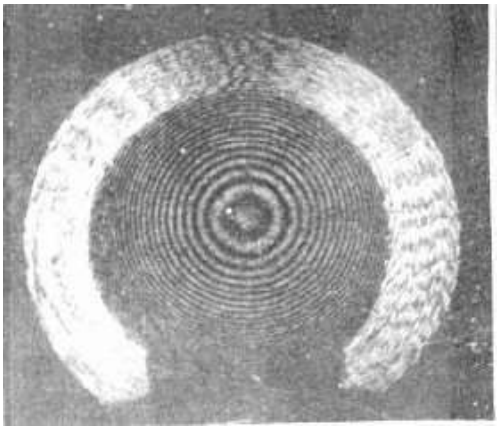


Рис.2 - Интерференционная картина контролируемой поверхности

Регистрируемые в ходе измерений интерференционные картины содержат большой объем информации, который может быть обработан и расшифрован для получения качественных и количественных оценок отклонения формы самых разнообразных поверхностей.

Для предложенного метода с помощью конических зеркал по стандартным методикам была произведена количественная оценка точности, результаты которой приведены в таблице 1. При расчете были учтены погрешности волнового фронта, погрешность от внешних влияющих величин, погрешность аберраций, погрешность измерения, погрешность проецирования, вызванная перекосом камеры, и др.

Таблица 1 – Погрешности оптической системы

Погрешность	мкм
Погрешность волнового фронта	0,031
Погрешность от внешних влияющих величин	0,041
Погрешность аберраций	0,157
Погрешность измерения	$1{,}013\times10^{-2}$
Погрешность расстояния	0,82
Погрешность проектирования, вызванная перекосом камеры	$9{,}277\times10^{-4}$
Погрешность оптической системы	1,2

$$\Delta\text{ос} = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta^2_{\text{разр.способ.}} + \Delta^2_{\text{аб}} + \Delta^2_t + \Delta^2_{\text{р}} + \Delta^2_{\text{и}}} \quad (1)$$

Оценка суммарной погрешности предложенной оптической системы, рассчитанная по формуле 1, составляет $\approx$ 1,2 мкм. Следовательно, существует возможность контролировать отклонение формы поверхностей с требуемым отклонением формы порядка 4 мкм, что вполне достаточно для оценки отклонения формы широкого круга деталей, например, турбинных лопаток, профиля направляющей в гидромоторе, кулачков и др.

Таким образом, предложенный вариант бесконтактного метода с помощью конических зеркал для контроля поверхностей сложной формы может обеспечить высокую точность и производительность, кроме того, является универсальным для контроля тел вращения и перспективным в дальнейшей практике.

Литература
1. *Морозов А.М., Кононов И.В.* Оптические голографические приборы: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1988. 99 -104 с.
2. Пат. RU 2 245 516 C2 Российская Федерация. Устройство для контроля отверстий деталей / Чугуй Ю.В., Финогенов Л.В., Завьялов П.С., Никитин В.Г., Саметов А.Р.; заявитель и патендообладатель Конструкторско-технологический институт научного приборостроения. - № 2003110530/28; заявл. 15.04.2003; опубл. 10.10.2004.
3. *Жиганов И.Ю.* Бесконтактные устройства измерения геометрических параметров труб /И.Ю.Жиганов. – М.: Вузовская книга, 2004. 207 – 211 с.

УДК 681.121

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ГАЗА

Артём Вадимович Мудрецов

Магистр1года,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Баумана

Научный руководитель: В.Л. Скрипка,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Вследствие несовершенства системы учета газа и невысокой точности узлов коммерческого учета в системе «поставщик - потребитель» возникают финансовые потери, которые ведут к конфликтам, в том числе и к межгосударственным.

Анализ НТД, в соответствие с которой производятся измерения расхода в системе магистральных газопроводов, показывает, что на уровне национальных стандартов объединений, методических инструкций и рекомендаций, правил, алгоритмы определения расхода требуют учитывать 25…30 вычисляемых или дополнительно измеряемых параметров. Таким образом, даже в идеальном случае, если реальная погрешность определения этих параметров будет равна 0,1…0,2%, то в суммарную погрешность оценки величины расхода эти параметры внесут от 0,5 до 1,5% и достижение требуемых точностных требований, становится весьма проблематичной задачей.

В настоящее время не имеется предпосылок для появления на рынке эффективных первичных преобразователей расхода газа основанных на новых принципах измерения, поэтому, использование более совершенных алгоритмических методов обработки измерительной информации представляется перспективным для обеспечения требуемых НТД точностей оценки учета расхода газа. Одним из вариантов такого подхода может стать взаимнокорреляционная обработка измерительных сигналов.

При оценке расхода газа измерительный канал предназначен для передачи измерительной информации, которая и определяет точность и качество выполнения технологического процесса (поставка газа от поставщика потребителю). Согласно сути взаимокорреляционного метода, измерительный канал необходимо дублировать. При этом необходимо, чтобы первичные преобразователи (расходомеры) этого параметра основывались бы на разных принципах действия. В этом случае воздействующие факторы, негативно влияющие на точность и дополнительную погрешность расходомеров будут некоррелированы, а коэффициент корреляции сигналов будет стремиться к единице, и точность оценки контролируемого параметра (расход газа) существенно увеличится.

Достоверность расходомеров выразим через вероятность неверного заключения:

для исходного расходомера:

$$P_{н.з.}^{I} = \alpha_I + \beta_{II} \text{ (1)},$$

где α_1-вероятность ошибок первого рода,

β_2-вероятность ошибок второго рода, ;

аналогично для расходомера, служащего калибрующим элементом:

$$P_{н.з.}^{II} = \alpha_I + \beta_{II} \text{ (2)}.$$

Суммарная вероятность верных заключений:

$$P_{\sum} = 1\text{-}P_{н.з.}^{I} \cdot P_{н.з.}^{II} \text{ (3)},$$

Действительно, в этом случае, если вероятность неверного заключения одного измерительного канала составляет $P_{н.з.}^{I} = 0{,}13$, а дублированного $P_{н.з.}^{II} = 0{,}15$, то суммарная вероятность верных заключений составит $P_{\sum} = 1 - 0{,}13 \cdot 0{,}15 = 0{,}9805$, что выше, чем для одного измерительного канала $P^{I} = 0{,}87$.

Следовательно, дополнительный расходомер и применение данного алгоритма обработки результатов измерений повысит достоверность учета расхода газа.

В общем случае структурная схема взаимокорреляционной обработки показана на рисунке 1. Измерительные сигналы $x_1(t)$, $x_2(t)$, … $x_n(t)$ по измерительным каналам 1, 2, nпоступают в коррелятор К. В «коррелятоpе» программно-вычислительным способом обрабатываются совместные характеристики этих сигналов, которые образуют совместный многомерный образ работы измерительной системы. По результатам анализа этого образа вырабатывается сигнал, управляющим корректирующим устройством (КУ), которое в выходные сигналы $\hat{y}_1(t)$, $\hat{y}_2(t)$, … $\hat{y}_3(t)$ автоматически вносит поправки.

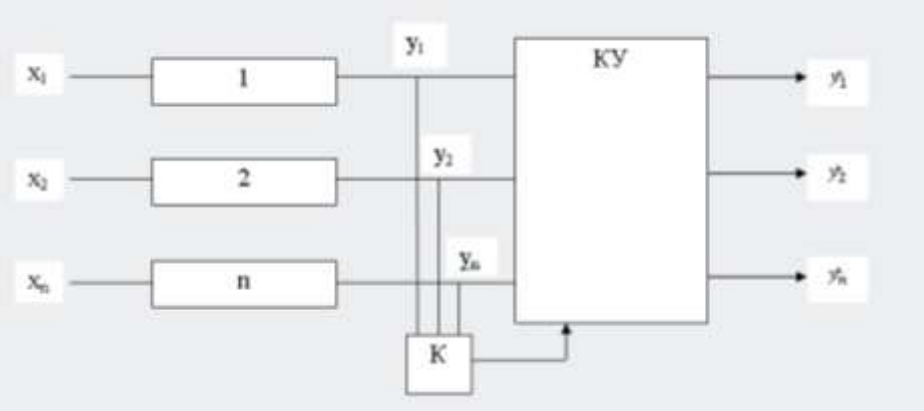


Рис. 1. Общая схема взаимокорреляционной обработки

Литература

1. *Скрипка В. Л.* Корреляционная обработка сигналов – резерв повышения точности работы конвейерных весов - Приборы 2016 .- № 11 .- С. 26 - 29

2. *Бернер Л.И., Лавров С.А., Сушков С.И.*Точный учет расхода газа - основа энергоэффективности предприятия"//Материалы Форума Международных научно-практических конференций, 2000 г.

3. *Гуткин М.Б., Мишустин В.И., Чистяков Ю.А.*Метрологическое обеспечение измерений расхода и объема жидкостей и газов в России //Измерительная техника», март 2012 г.

4. *Асташенков А.И., Беляев Б.М., Патрикеев В.Г., Иполитов Б.А., Шаронов А.М., Вагин В.В.* Достоверность измерений расхода и объема природного газа в газораспределительных организациях//Измерительная техника», май 2002 г.

5.*Плуталов В.Н.,* «Метрология и техническое регулирование», учебное пособие – М.: изд-во МГТУ, 2011г.

6.*Прахов М.Ю.;* «Основные принципы построения систем автоматического управления и технологического контроля» Пособие - Уфа: УГНТУ. 104с.

УДК 608.2

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЙ

Инна Николаевна Мясникова

Магистр 2года,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Шачнев
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Проблема неопределенности возникает при решении измерительных задач и задач контроля уже на этапе разработки методик. При этом саму неопределенность целесообразно рассматривать как совокупность нечеткости и случайности. В работе показано, что решением данной проблемы может служить отказ от строгого планирования объема наблюдений и замена его применением метода последовательного анализа.

Реализация данного метода требует введения и проверки устойчивости некоторых критериев, поэтому для решения задач высокоточных измерений с применением многократных наблюдений предлагаются точностные критерии, которые позволяют воплотить идею последовательного анализа, а также анализируется их эффективность.

В качестве данных критериев при выборе объёма наблюдений можно рассматривать следующие критерии:

- ограничения на колебание среднего T_1
- ограничение на изменение колебания среднего T_2
- ограничение на колебание среднеквадратического T_3 как стандартной неопределённости
- ограничение на колебание расширенной неопределённости T_4 (доверительного интервала)

Для ряда физических величин погрешность задаётся относительными величинами. Кроме того, при исследовании в абсолютных величинах сказывается влияние номинальных значений измеряемой величины. Для исследования указанные выше критерии переведеныв относительные:

$T_1(n)$– обозначение относительной разности средних значений

$$T_1(n) = \frac{\left| x(n)_{ср} - x(n+1)_{ср} \right|}{x(n)_{ср}}$$

$T_2(n)$ – обозначение разности двух соседних модулей относительно разности средних

$$T_2(n) = T_1(n) - T_1(n+1)$$

$T_3(n)$ – обозначение относительной разности (относительного колебания) среднеквадратических значений, то есть

$$T_3(n) = \frac{S(n) - S(n+1)}{S(n)}$$

$T_4(n)$ – относительное колебание доверительного интервала, вычисляется по формуле:

$$T_4(n) = \frac{D(n) - D(n+1)}{Dn}$$

Исследования устойчивости критериев показали, что зависимость достаточного объема наблюдений от требуемого уровня критерия можно описать формулой вида:

$$n = \mathrm{a} \cdot \mathrm{e}^{-0{,}145x},$$

где a – характеризует диапазон рассеивания наблюдений
x – характеризует требуемый уровень критерия.

Литература:

1. *Е.И Пустыльник.* Статистические методы анализа и обработки наблюдений. –М.:Наука, 1968 г.–288 с.
2. *А. Вальд* «Последовательный анализ». –М.: Физматлит, 1960 г. — 328 с.
3.ГОСТ Р 54500.3-2011 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

УДК 531.714.2

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Мария Александровна Смольянинова

Магистр 1года,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.М. Корнеева,
доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Для повышения качества выпускаемых изделий совершенствуют как обрабатывающее оборудование, так и методы контроля деталей. Развитие технологий невозможно без качественного контроля.

Для весьма распространенного производства сложных ответственных деталей (корпусов, штампов, турбинных лопаток, эвольвентов, кулачковых валов и т.п. деталей) комплекс технических требований к средствам контроля, ранжированный по степени важности начиная с высшего ранга может быть представлен так:

1) многофункциональность;
2) информативность;
3) точность;
4) переналаживемость;
5) производительность.

Такому комплексу технических требований в наибольшей степени удовлетворяют координатные измерительные машины (КИМ)[1].

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.

Однако, несмотря на широкое применение КИМ в промышленности, точность измерения не просто длины, а геометрических параметров (ГП) поверхностей на КИМ и привязка их к эталонам, российскими и международными стандартами до сих пор метрологически не обеспечена [2].

Необходима разработка и совершенствование системы эталонов для координатных измерений ГП, системы поверочных схем, методов и средств испытаний и поверки КИМ, аттестации алгоритмов и программ координатных измерений, а также системы нормативных документов, выполнение требований которых является необходимым условием обеспечения единства координатных измерений [2].

Проблема пространственной – трехмерной метрологии, существенно сложнее одномерной, не решена до сих пор в полном объеме и на национальном, и международном уровне решается методом проб и ошибок.

Литература

1. *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.
2. *Кононогов С.А., Лысенко В.Г.* Координатная метрология. М.: АСМС, 2009. 414 с.

УДК 51-74

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ.

Анастасия Дмитриевна Стукалова

Студент 4 курса,
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»

В настоящее время изучение вопроса передачи и анализа цифровых изображений, содержащих информацию о характерных особенностях объекта, является актуальной задачей. К анализируемым параметрам относятся геометрические размеры детали, форма объекта, поверхностные дефекты, шероховатость и многие другие. Средства технического диагностирования играют огромную роль в развитии современных методов контроля качества механизма на различных этапах его жизненного цикла. Проверка исправности, правильности функционирования, поиска дефектов и оценка технического состояния машин требует измерения и контроля. Получение максимального объема информации, основанного на использовании математического аппарата и прикладном применении технических новинок, служит надежной базой, развития современных методов диагностирования.

Для дистанционного контроля формы объекта необходимо применение системы машинного зрения и методов анализа Фурье. Первое позволяет получить цифровые изображения высокого разрешения, а второе осуществить достоверный анализ формы поверхности, в частном случае анализ кривой.

Изображения, получаемые с помощью видеокамеры, записываются на компьютере и проходят дальнейшую обработку, с целью выявления требуемых характеристик. После получения кадра, содержащего информацию о поверхности детали, необходимо получить «кривую», которая соответствует реальному профилю объекта, для этого используетсяпреобразование Фурье:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)];$$

Для решения поставленной задачи, была разработана универсальная измерительная установка рис. 1, позволяющая использовать контрольно-измерительные приборы с различными принципами действия. Например, с применением лазера, инфракрасного датчика, USB-микроскопа. Собранная установка работает на базе системы машинного зрения.

Для закрепления контролируемого объекта (5) в центрах применяется универсальная делительная головка (1) и задняя бабка (4). Универсальная делительная головка используется для точного поворота детали, что позволяет получать изображение с поворотом на одинаковый шаг.

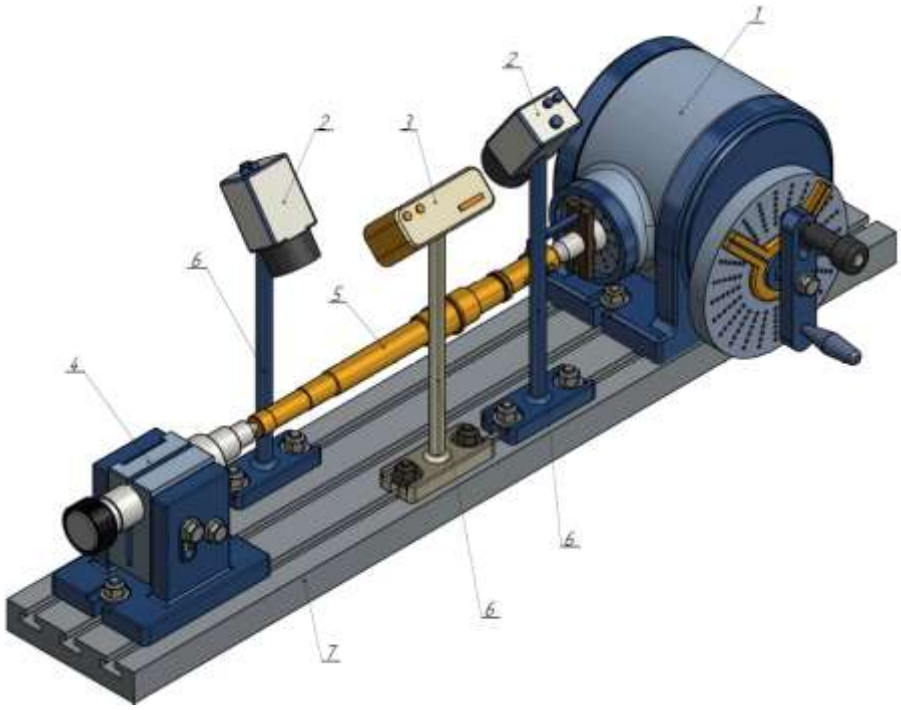


Рис. 1 Модель измерительной установки.

Модель предусматривает систему машинного зрения (2) и систему освещения (3), закрепленных на универсальных штативах (6). Чтобы избежать погрешность от установки, все элементы модели закрепляются на станине (7).

Предложенная модель системы машинного зрения может включать в себя несколько компонентов, таких как: одна или несколько цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные), программное обеспечение для обработки изображений, персональный компьютер с многоядерным процессором или «умные» камеры со встроенным процессором, которые позволяют решать большой спектр задач, возникающих при проведении измерений и диагностики объектов.

Вывод:

Разработанная модель контроля объектов машиностроения на базе системы машинного зрения позволяет:

-практическое исследовать возможности машинного зрения в метрологии (напримерUSBмикроскопа, ВЭБ камеры, «умных» цифровых видеокамер, в том числе в инфракрасном диапазоне и т.д.);

-осуществлять достоверный анализ формы поверхности, в частном случае анализ кривой с использованием преобразований Фурьедля получения информации о механических повреждениях типа скол, температурных деформациях контролируемого объекта, наслоение продуктов окисления, выработки;

-исследовать элементы морфологического анализа с цельюизучения алгоритмов автоматизированного анализа изображений;

-экспериментировать с различными источниками освещения в том числе с использованием прецизионных стробоскопов;

-применять разработанную модель в учебных целях;

-изучать и исследовать, при соответствующей модернизации делительной головки и установки энкодера, фазохронометрическую систему диагностики интегрированную с системой машинного зрения.

Литература

1. *Байков А.И., Киселев М.И., Комшин 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;
2. *Залманзон Л.А.* Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областяш. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 496 с.
3. *Кузнецов М.В.* Современные методы исследования поверхности твердых тел. // Институт химии твердого тела УрО РАН. 2010;
4. *Пытьев Ю.П., Чуличков А.И.* Методы морфологического анализа изображений. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 336 с;
5. *Шовенгердт Р.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Москва: Техносфера, 2010. – 560 с.

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

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ КОНТЕЙНЕРА

Нурлан Фейзуллаеви Нуралиеч, Валерий Валерьевич Авдеев

Студенты 5 курса.
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: В.И.Семёнов,
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Цель работы ─ разработка технологии изготовления корпуса контейнера транспортного упаковочного комплекса (ТУК) из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для обеспечения надёжного транспортирования и хранения ядерного топлива в виде тепловыделяющих сборок (ОТВС) атомных электростанций (АЭС).

Разработка новой технологии ТУК позволяет:

- создать парк транспортных упаковочных комплектов, отвечающих современным требованиям безопасности, для замены морально устаревших и отработавших свой ресурс ТУК для транспортирования ОЯТ реакторов;
- освоить производство инновационных технологий, в том числе по выплавке и модифицированию больших масс высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) и изготовлению из этого прогрессивного материала крупнотоннажных отливок ответственного назначения, в т.ч. корпусов ТУК;
- снизить стоимость (на 20-30%) контейнера из ВЧШГ по сравнению с аналогами из нержавеющей стали;
- обеспечить ускоренное освобождение стационарных бассейнов выдержки;
- повысить эффективность перевозок отработавшего ядерного топлива, снизив затраты на его транспортирование за счет увеличения вместимости нового ТУК по сравнению с существующими упаковками.

Проведен анализ данных по химическому составу и уровню механических свойств ВЧШГ в теле экспериментальных литых заготовках с различной толщиной стенки и в промышленных крупнотоннажных отливках, в том числе в корпусах ТУКов, изготовленных разными производителями.

Литература

1. *Беляков А.И., Жуков А.А., Маццарелли Д., Беляков А.А.* Производство отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. //– М.: Машиностроение, 2010. – 712 с.
2. *Шумихин В.С., Кутузов В.П., Храмченков А.И.*Высококачественные чугун для отливок. // – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.

.

УДК 621.74.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАЗОИСТЕЧЕНИЯ ИЗ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ

Павел Андреевич Артамонов

Студент 5-го курса,
кафедра "Литейные технологии"
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.С. Ларичев
Ассистент кафедры "Литейные технологии"

В рамках работы, представленной на конференции «Научная студенческая весна Машиностроительные технологии 2017» «Исследование процессов газоистечения из пресс-формы для машин литья под давлением при вакуумировании» был проведен анализ влияния некоторых геометрических параметров элементов пресс-формы на аэродинамические процессы, наблюдаемые при вакуумировании формообразующей полости пересс-формы. Особый интерес, данная работа представляет ввиду того, что исследуемые процессы и механизмы протекают на скоростях, сопоставимых со скоростью заполнения формообразующей полости жидким или дисперсным материалом, что косвенно указывает на возможность управления процессом заполнения формообразующей полости при помощи выбора оптимального режима газоистечения для каждой конкретной отливки.

В работе представлены расчетные схемы и графики значений некоторых оценочных параметров, исходя из которых, возможно составить подробную картину процесса вакуумирования пресс-формы, а также, оценить степень влияния геометрии формообразующей полости и камеры вакуумирования на режим газоистечения. Расчеты и моделирование процесса проводились в программной среде FlowSimulationпо средствам CFD (*ComputationalFluidDynamics).*

Результатом данной работы является выбор оптимальных геометрических параметров исследуемой системы, основаный на анализе представленных расчетных схем и результатов вычисления.

Литература

1. *Е.Н.Бондарев, В.Т.Дубасов, Ю.А.Рыжов* и др. Аэрогидромеханика / М.: Машиностроение, 1993.-608 с: ил.

ИНДУКЦИОННАЯ БЕСТИГЕЛЬНАЯ ВАКУУМНАЯ ПЛАВИЛЬНО-ЗАЛИВОЧНАЯ УСТАНОВКА

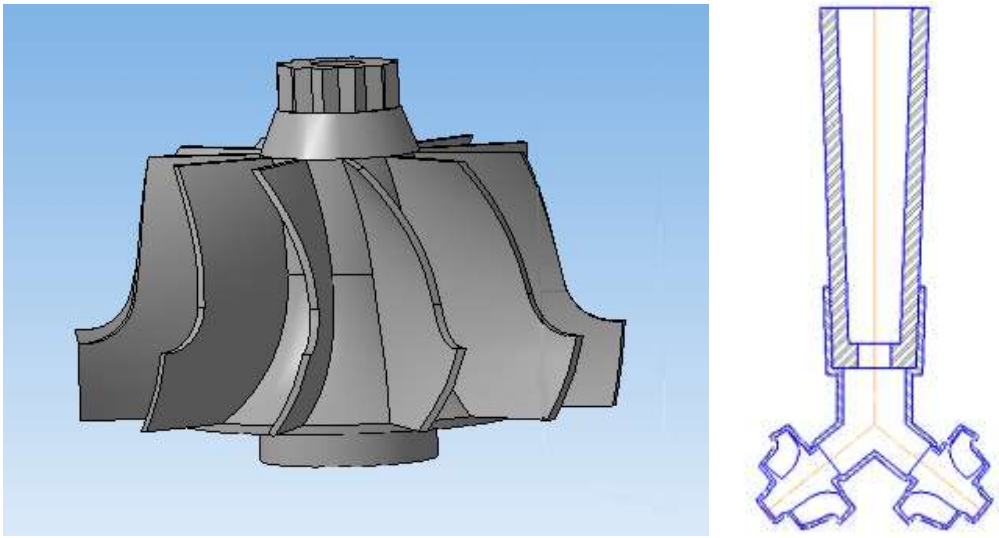
Илья Олегович Бабийчук

Студент 5 курса
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мандирк,
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 2.



а) —Отливка; *б) — Керамическая форма*

Рисунок 2 – Колесо турбины

Габариты отливок – до 130 мм в диаметре, диаметр формы – до 230 мм.

Сплав Inconel 713C жаропрочный, заливается при температуре 1500-1600 ˚С, в вакууме или инертной среде [1].

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 печи за счет того, что тепло возникает внутри заготовки, а не передается извне.

Для получения качественных отливок необходимо обеспечение направленной кристаллизации [2].

Для изготовления таких деталей применяют бестигельные вакуумные плавильно – заливочные установки с индуктором, расположенным вне вакуумного пространства (Рисунок 3).

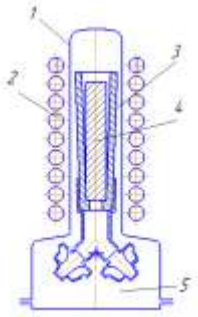


Рисунок 3 – Бестигельное вакуумное индукционное устройство с индуктором, расположенным вне вакуумного пространства 1 — плавильная камера (колба); 2 — индуктор; 3 — форма; 4 — мерная заготовка; 5 — заливочная камера

В данной установке плавильный индуктор 2 располагается вне вакуумного пространства печи. В связи с этим материал плавильной камеры 1 должен быть токонепроводящим и не магнитным, газонепроницаемым и термостойким. Чаще всего для этих целей используют трубы из кварца или плавленого электрокорунда.

Здесь тигель составляет с формой единое целое и является одноразовым. После прокалки формы в нее вставляется мерная заготовка из требуемого сплава. Далее форма с мерной заготовкой помещаются в печь и происходит расплавление заготовки в тигле формы.

Преимущества:

— Донный разлив металла обеспечивает высокое качество получаемых отливок, так как шлак и примеси, находящиеся на поверхности расплава, не попадают в форму;

— Вакуумная камера данной печи имеет минимальные размеры;

— Отсутствие каких-либо механических манипуляций в процессе плавки и заливки;

— Быстрая загрузка/разгрузка печи;

— Одноразовый тигель не размывается металлом и не служит источником неметаллических включений в отливке;

— Малые габариты установки;

— Отсутствие необходимости подготовки печи к работе, так как загрузка тигля происходит вне устройства;

— Порция заливки определяется размером мерной заготовки.

Рассмотрим две существующие установки данного типа:

— Установка фирмы TruCast, внедренная в производство колес турбин на литейном заводе КамАЗ;

— Установка УЛВБ фирмы Литаформ.

Установка для бестигельного литья фирмы TruCastпредставляет из себя две установки(рисунок 4): плавильно-заливочная установка 1 и установка кристаллизации 2. Каждая установка имеет два рабочих места, что обеспечивает ее непрерывную работу.

Рабочий 3 вынимает прокаленную форму из печи прокалки, после чего переносит ее на место установки мерных заготовок 5. После установки мерной заготовки рабочий устанавливает форму в плавильно-заливочную установку 1 (рисунок 5). После установки формы в печь происходит откачка воздуха из полости вакуумной камеры и включается плавильный индуктор. Индуктор питается от преобразователя частоты, координация работы установки производится системой управления установки. После расплавления мерной заготовки расплав поступает в форму. После окончания заливки рабочий перемещает форму в печь кристаллизации (6).

Рабочий устанавливает форму в держатель и засыпает в нее реактив «Фидекс», при взаимодействии которого с расплавом в прибыли происходит экзотермическая реакция, в результате чего в шейке прибыли образуется тепловой узел, питающий затвердевающую отливку. Данный процесс протекает в воздушной среде.

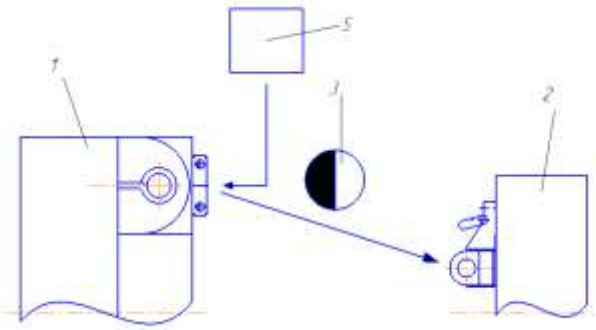


Рисунок 4 – Схема работы установки

1 —плавильная установка; 2 — установка кристаллизации; 3 — рабочий; 4 — пункт установки мерных заготовок; 5 — прокалочная печь.

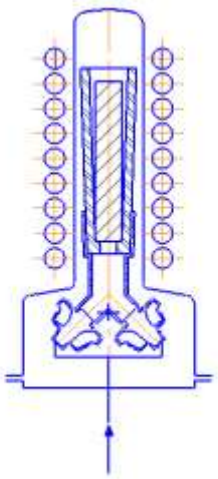


Рисунок 5 – Вакуумная камера

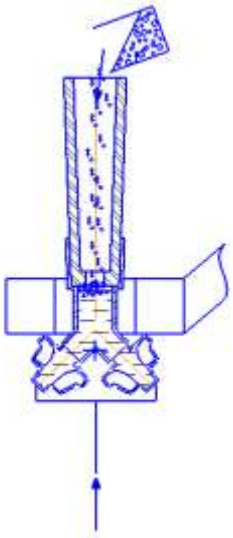


Рисунок 6 – Установка кристаллизации TruCast

Преимущества:

— Подогрев прибыли позволяет значительно сократить размер ее размер.

Недостатки:

— Подогрев прибыли происходит на отдельной позиции.

— Подогрев прибыли за счет экзотермической химической реакции приводит к выделению газов и требует серьезной вентиляции.

Установка для литья в вакууме УЛВБ устроена аналогично установке Tru Cast с одним отличием.

Подогрев прибыли осуществляетсяне экзотермической реакцией, а индукционным нагревом прибыли (7), что также создает в прибыли тепловой узел, необходимый для питания отливки в процессе ее кристаллизации.

Порядок работы и компоновка установки также полностью аналогична установке TruCast.

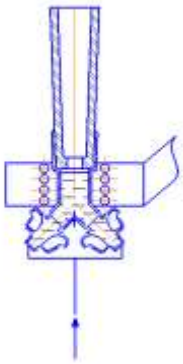


Рисунок 7 – Подогрев прибыли на установке УЛВБ

Индукционный нагрев прибыли имеет ряд преимуществ:

— Повышается экономичность установки, так как вместо порошка используется индуктор;

— Улучшаются условия труда рабочих, так как при использовании порошка выделяются вредные продукты реакции и происходит их разбрызгивание;

— Повышается экологичность производства;

— Исключается еще одна операция, производимая рабочим (теперь ему необходимо лишь установить форму в установку), что также исключает человеческий фактор (например, неточная дозировка порошка).

Однако до сих пор остается ряд недостатков, присущий обеим установкам:

— Установка состоит из двух частей: плавильно-заливочной и установки для кристаллизации;

— Сильное влияние человеческого фактора, так как рабочий затрачивает на перемещение формы из плавильно-заливочной установки в установку кристаллизации каждый раз разное время;

— При перемещении формы в установку для кристаллизации отливка уже частично затвердевает;

— Затвердевание происходит в воздушной среде.

На основе проведенного анализа бестигельных установок предлагается установка, в которой индукторы для нагрева прибылии плавки совмещены на одной позиции.

Данная установка (
Рисунок 8) 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 и крышки вакуумной камеры 9.

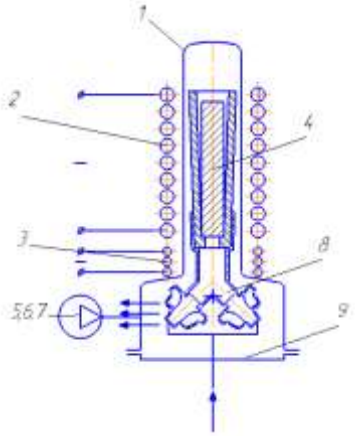


Рисунок 8 – Схема установки

1 — вакуумная камера; 2 — индуктор; 3 — индуктор; 4 — мерная заготовка; 5 — вакуумный насос; 6 — вакуумный насос; 7 — насос; 8 — форма; 9 — крышка

Рассмотрим этапы работы данной установки (Рисунок 9):

— 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 9,а) ;

— После завершения откачки воздуха, вакуумный насос 5 большой мощности отключается и включается вакуумный насос 6 малой мощности, который поддерживает вакуум в камере (Рисунок 9,б);

— Одновременно включается индуктор 2, начинается процесс плавки мерной заготовки;

— При завершении плавки металл заполняет полость формы, включается индуктор 3, выключается индуктор 2 (Рисунок 9,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 9,г). Происходит процесс направленной кристаллизации отливки в контролируемой атмосфере;

— При завершении кристаллизации все системы установки отключаются, камера раскрывается, рабочий достает форму. Цикл повторяется.

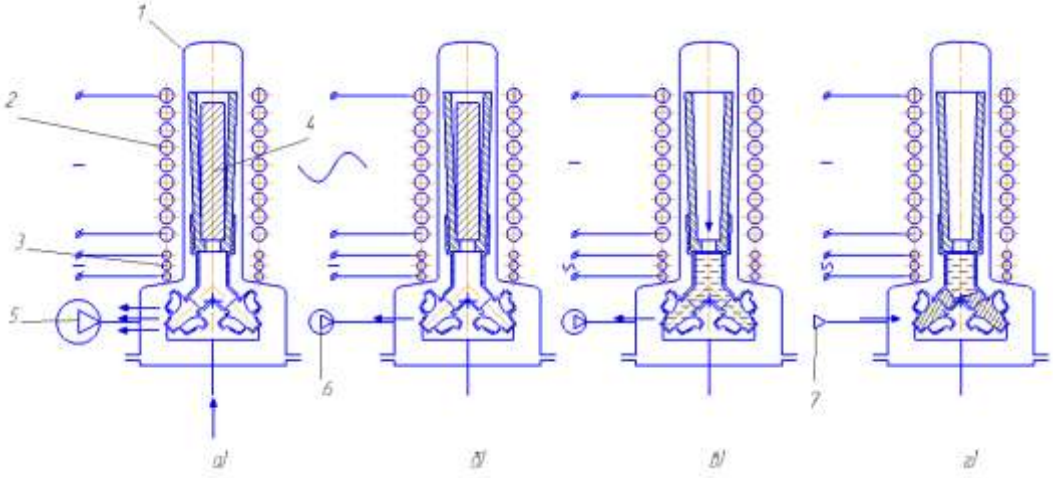


Рисунок 9 – Этапы работы установки

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.

В дальнейшем необходимо провести исследования и ответить на следующие вопросы:

— Требуется ли подогрев прибыли?

— Какие способы управления кристаллизацией наиболее эффективны и применимы?

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. Москва : Машиностроение, 1984.
2. *Е.Н., Каблов*. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). Москва : МИСИС, 2001 г.

УДК 621.74

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ФОРМОВОЧНОЙ РЕЗИНЫ ДЛЯ ЮВЕЛИРНОГО ЛИТЬЯ

Ляззат Маратовна Буксукбаева

Студентка 4курса, бакалавриат
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина,
старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

При литье ювелирных изделий в качестве формы для получения восковых моделей используются формовочные резины различных марок.

Целью работы является выбор наиболее подходящей резины. Выбор резины зависит от таких параметров, как:

- Тип изделия;
- Геометрия изделия;
- Материал мастер модели;
- Серийность производства;
- Производитель резины;
- Цена.

В работе рассмотрены резины для трех видов изделий: мелких, средних и крупных.

Проведен сравнительный анализ каучуковой резины, силиконовой резины, силиконовой жидкой резины и силиконовой жидкой безусадочной резины в зависимости от их свойств, как:

- Усадка;
- Относительная плотность;
- Вязкость;
- Вид отверждения;
- Длительность и температура вулканизации;
- Прочность и эластичность на разрыв;
- Твердость;
- Количество компонентов и их процентное соотношение;
- Производитель и цена.

В результате анализа выбраны оптимальные виды резин для изделий различной сложности.

Литература

1. *Бреполь Э.* Теория и практика ювелирного дела: Пер. с нем/ Под ред. Л.А.Гутова и Г.Т.Оболдуева. - 4-е изд., стереотипии.- Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1982.-384 с.
2. *Иванов В.Н.* Литье по выплавляемым моделям. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

3. *Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А.* Технология литейного производства. Специальные виды литья. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.

УДК 62 – 133.2

АНАЛИЗДЕФЕКТОВ ОТЛИВКИ «ОСНОВАНИЕ», ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА В ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ

Артем Вадимович Буров

Студент 6 курса, магистр 2 года,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мандрик,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

В данной работе пойдет речь о проведенном опыте и полученных результатах при изготовлении отливки «Основание» из титанового сплава ВТ20Л, изображенной на рисунке 1.

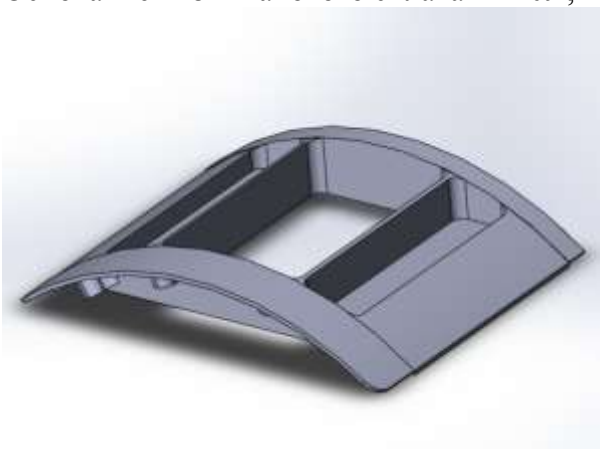


Рис. 1. 3D-модель отливки

На рисунке 2 представлен используемый вариант литниковой системы.

Рис. 2. Вариант литниковой системы

Наилучшие результаты достигаются при применении расширяющихся литниковых систем, когда суммарное сечение литниковых каналов увеличивается от стояка к питателям в

соотношении 1: 2: 2,5. Согласно рекомендациям, для отливок массой менее 20 килограмм площадь сечения стояка равна 9,6 см^2(см. рис. 3).

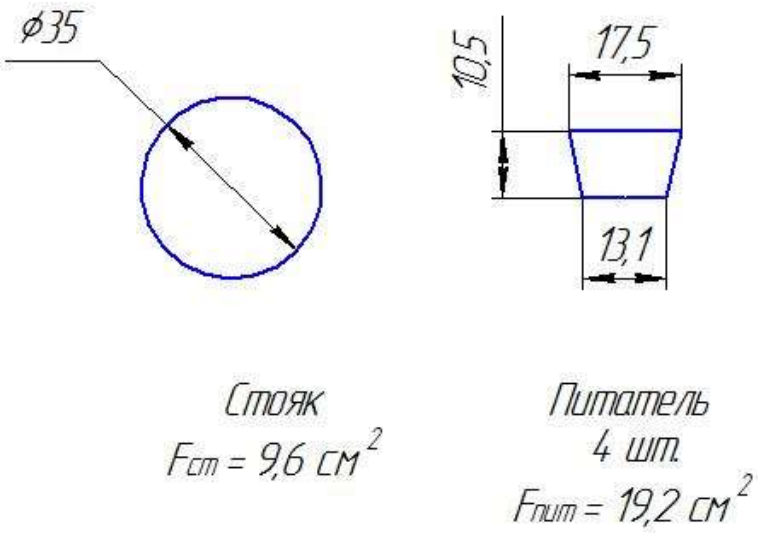


Рис. 3. Размеры литниковой системы

В результате получена следующая картина дефектов:

- Геометрия соблюдена полностью, после обмеров было выяснено, что размеры отливки лежат в допустимом интервале (см. рис. 4).

Рис. 4. Геометрия отливки.

- Рентген контроль выявил наличие усадочной пористости в массивных узлах (см. рис. 5):

Рис. 5. Рентгеновский снимок полученной отливки.

Вывод:для устранения данного дефекта, необходимо дополнительно питать массивные части отливки. Необходимо провести повторное моделирование заливки в пакете программ Flow3D, на основании полученных результатов изменить литниково-питающую систему с целью получения годной отливки. Дефектов иного рода замечено не было.

Литература

1. *Макквиллэн А.Д., Макквиллэн М.К.* Титан. М.: Металлургиздат, 1958, 458 с.
2. *Колачев Б.А., Бецофен С.Я., Бунин Л.А., Володин В.А.* Физико–механические свойства легких конструкционных сплавов. М.: Металлургия, 1995, 288 с.
3. *Цыинкер У.* Титан и его сплавы. М.: Металлургия, 1977, 512 с.
4. *Белов С.П., Брун М.Я., Глазунов С.Г.и др.* Металловедение титана и его сплавов / под ред. Глазунова С.Г. и Колачева Б.А. М.: Металлургия, 1992, 352 с.

УДК 62 – 133.2

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ВОЗДУХОНАПОЛНЕННОГО МОДЕЛЬНОГО СОСТАВА МВС-3А

Ольга Владимировна Ефимчикова

Студентка 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»

Одной из важных проблем при изготовлении выплавляемых моделей из воскообразных модельных составов является их усадка. В ходе работы были получены данные об изменении линейной усадки и прочности на статический изгиб модельного состава МВС-3А в зависимости от количества замешанного в него воздуха.Для проведения опытов были использованы методики НИИТАвтопрома[4].

Данные, полученные в результате эксперимента, представлены в графическом виде на рисунках 1 и 2.

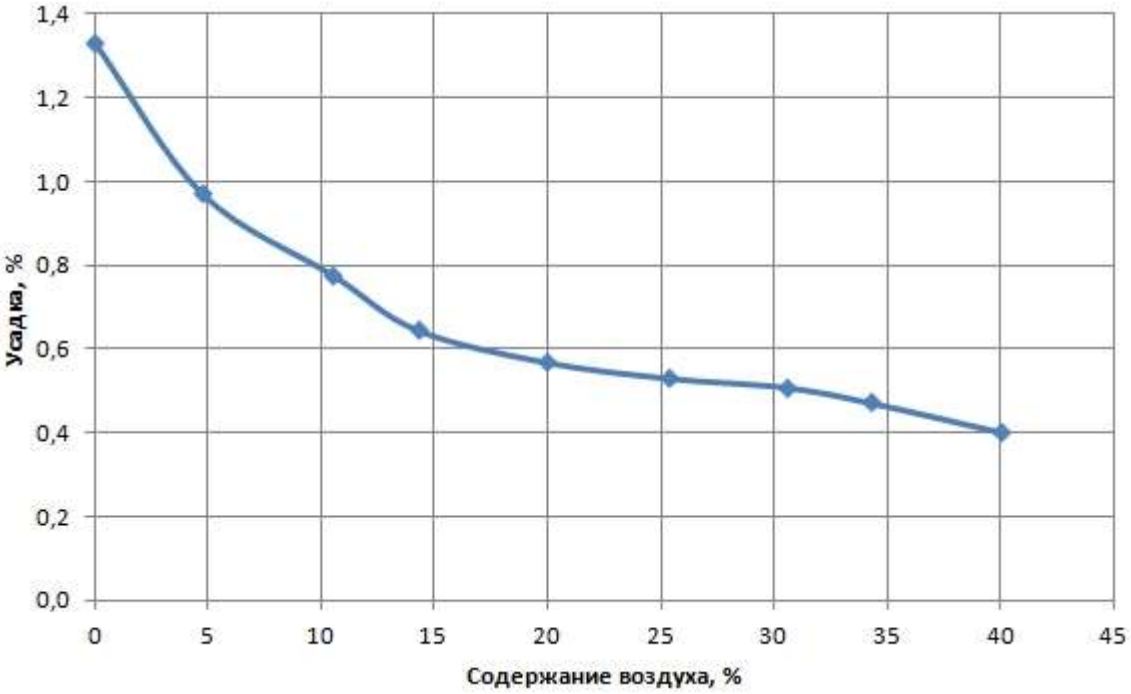


Рис. 1. Зависимость линейной усадки от содержания воздуха в модельной массе

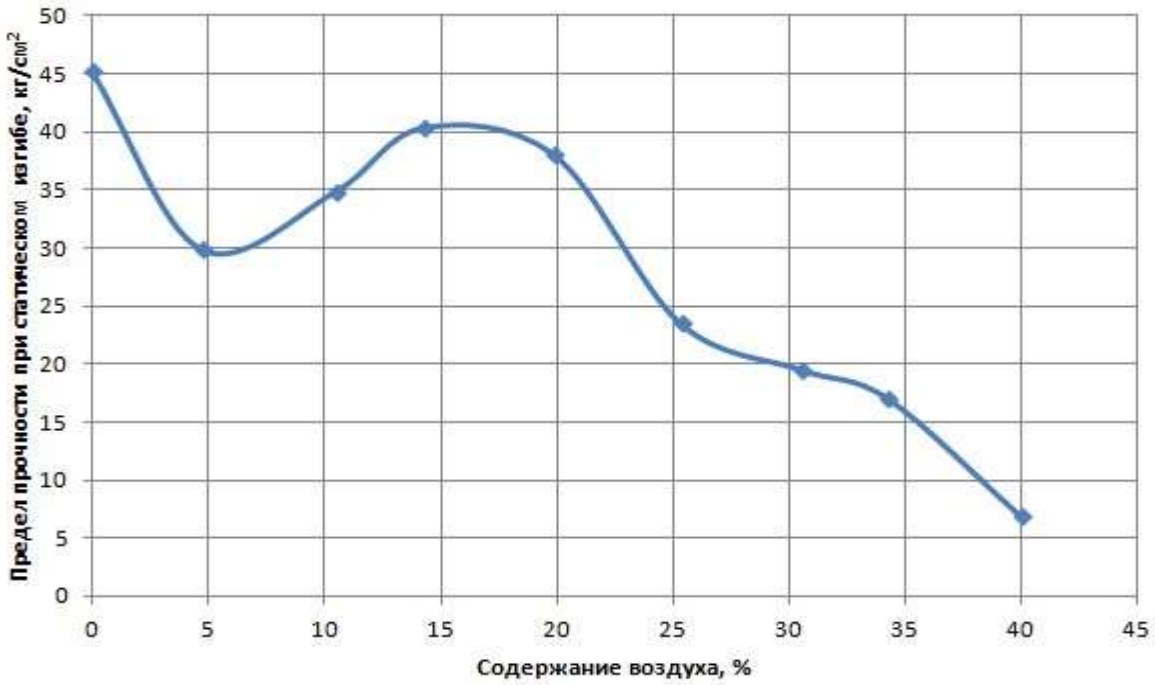


Рис. 2. Зависимость предела прочности при статическом изгибе от содержания воздуха в модельной массе

Как видно из рисунков, при содержании воздуха до 20 % усадка модельного состава значительно снижается, однако дальнейшее повышение содержания воздуха оказывает уже несущественное влияние на усадочные процессы. Содержание воздуха до 5 % приводит к резкому падению прочности с 45 кг/см^2 до 30 кг/см^2. Однако при дальнейшем повышении содержания воздуха прочность возрастает и к 15 % воздуха достигает 40–41 кг/см^2, после чего опять резко снижается.

Таким образом, для исследуемого модельного состава марки МВС3-А оптимальным является содержание воздуха около 15 %, что почти в два раза снижает усадку при незначительных потерях прочности.

Литература

1. *Иванов В.Н., Казеннов С.А., Курчман Б.С.и др.* Литье по выплавляемым моделям / под общ.ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. 3 изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984, 408 с.
2. *Халикова К. К.* Наполнитель для модельного состава МВС -3А. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.– № гос. регистрации 0321300796.– URL: studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=725 (дата обращения: 22.12.2016).
3. *Постиженко В.К., Береговая О.С.* Влияние процентного содержания воздуха на физико-механические характеристики модельного состава «ВЕЛЕН». [Электронный ресурс] //Национальная библиотека Украины. Режим доступа: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/VKPI_mash/ 2011_61_2/61-2/67.pdf (дата обращения: 22.12.2016).
4. *Сокол И.Б., Житкова Л.А., Иванова М.Н. и др.* Методы контроля и исследования процесса литья по выплавляемым моделям. Исходные данные для проектирования цеховых лабораторий / Науч.-исслед. ин-т технологии автомоб. пром-сти "НИИТАвтопром". Отд. науч.-техн. и экон. Москва: [б. и.], 1968, 100 с., 42 л. черт.: ил.; 20 см.

УДК 621.743.56

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ИХ ПРОЧНОСТИ И КОРОБЛЕНИЯ

Кацуба Сергей Сергеевич

Студент 6 курса
Кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина,
старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

Объектом исследования является процесс прокаливания керамических стержней, используемых при литье авиационных лопаток газотурбинных двигателей.

Цель работы – исследовать влияние условий термообработки керамических стержней на их прочность и на соответствие геометрии и шероховатости поверхности; определить оптимальные режимы прокалки стержней; проанализировать результаты и дать рекомендации для уточнения серийной технологии обжига керамических стержней.

Поставленная цель достигается за счет изменения скорости нагрева стержней на начальном интервале до 350 °С, когда происходит удаление основного количества связующих компонентов, а, также,за счет использования электрической камерной печи с автоматическим управлением для повышения стабильности процесса.

Методика исследования состояла из следующих этапов:

1) изготовление сырых стержней и образцов из одной стержневой массы;

2) прокаливание стержней и образцов по различным режимам с использованием двух печей: электрической и газовой тоннельной;

3) определение временного сопротивления изгибу на испытательной машине на прокаленных образцах;

4) измерение коробления с помощью прибора для контроля геометрии стержней на соответствие требованиям серийного технологического процесса;

5) обработка полученных результатов методом полнофакторного экспериментас целью определения математической зависимости прочности и степени коробления стержней от режимов термообработки.

Таблица 1 – Режимы обжига стержней и образцов

№ Режима, тип печи.	Интервалы температур			Время выдержки при T_{max}
1. Электрическая камерная печь	30-350 °С V = 15 °С/ч 24 часа	350-800 °С V = 50 °С/ч 9 часов	800-1200 °С V = 100 °С/ч 4 часа	8 часов
2. Электрическая камерная печь	30-800 °С V = 50°С/ч 16 часов	800-1200 °С V = 100 °С/ч 4 часа		8 часов
3. Электрическая камерная печь + туннельная газовая печь ПГ-30 (комбинированный режим)	30-350 °С V = 15 °С/ч 24 часа	350-800 °С V = 50 °С/ч 9 часов	800-1350 °С V = 100°С/ч 5,5 часов	8 часов
4. Туннельная газовая печь ПГ-30	30-800 °С V = 50°С/ч 16 часов		800-1350 °С V = 100°С/ч 5,5 часов	8 часов

Таблица 2 – Результаты измерений

№ режима	Характеристика режима	Внешний вид	Геометрия, в/г, %	σ изгиба, Мпа	σ изгиба, Мпа
		Без пропитки связующим			С пропиткой
1	Электрическая камерная печь, T_{max} - 1200º С	Серые, гладкие, недопрокаленные	30 % (6годных+ 14 брак.)	7,3 8,1 9,2 9,4	-
2	Электрическая камерная печь, T_{max} - 1200º С	Серые, гладкие, недопрокаленные	60 % (12 год.+ 8 брак.)	9,5 10,2 10,8 11,6	-

3	Двойной обжиг: Сначала 1-й режим, затем 2-й режим	Белые, гладкие, без дефектов	80 % (16 год, + 4 брак.)	18,3 18,7 19,1 19,8	21,5 21,8 22,6 23,7
4	Серийный режим, в туннельной газовой печи T_{max} - 1350º С.	Белые, гладкие, без дефектов	55% (11 год.+ 9 брак.)	17,9 19,1 19,4 20,2	20,8 21,7 22,5 24,4

Исходя из литературного обзора различных источников[1,2,3] и данных, полученных экспериментальным путем, в качестве главных параметров, определяющих ход и результаты процесса, взята скорость нагрева печи до 350 °С (V) и максимальная температуру прокалки (T_{max}).

Из полученных результатов видно, что на величину прочности, главным образом, влияет максимальная температура. Наиболее оптимальная температура
T_{max} = 1350 °С с выдержкой при данной температуре около 8 часов. Прокалка при более низких температурах ведет к уменьшению прочности и необходимости пропитки стержней для ее увеличения. На величину коробления, в большей степени, влияет скорость нагрева короба со стержнями на начальном этапе до 350 °С, когда происходит выгорание основного количества связующих компонентов. Наибольшая скорость подъема температуры – 20 °С в час. При этом необходимо выдерживать максимальную температуру прокалки для получения годных стержней, как по геометрии, так и по прочности.

Литература

1.Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей.–Изд-во МИСиС, 2001 . – 632 с.;
2. Кайнарский И.С. Процессы технологии огнеупоров : теоретические основы производства огнеупорных изделий. – М. : Металлургия, 1969. 352 с.;
3. Балкевич В.Л. Техническая керамика.– Учебное пособие для ВТУЗов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М:. Стройиздат, 1984. — 256 с.

УДК 621.74

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ «ШКИВ» (СПЛАВ ВЧ35)

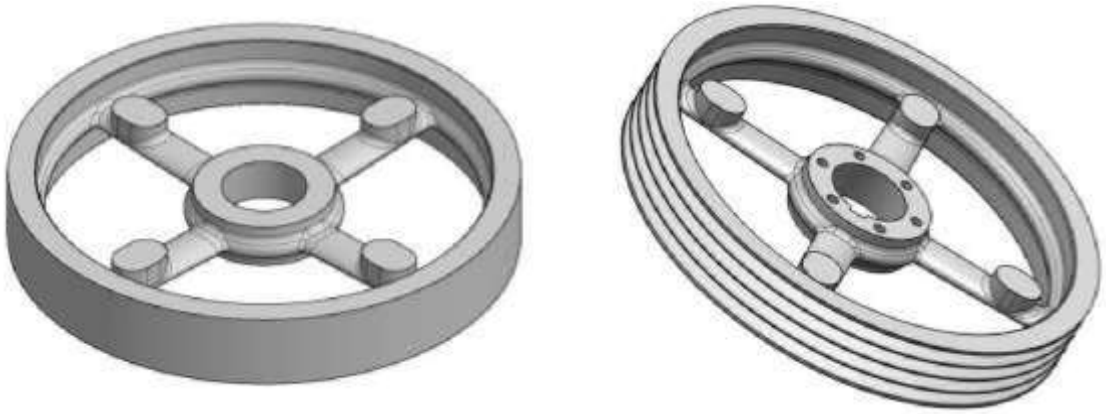
Татьяна Дмитриевна Клюквина

Студент 4 курса (бакалавриат), кафедра
«Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мандрик, кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Литье в песчаные формы является наиболее распространенным и относительно простым способом получения отливок. Этим способом получают отливки различной конфигурации весом от нескольких граммов до 300 тонн с толщиной стенки 0,5-500 мм. В качестве формовочных материалов могут применяться холоднотвердеющие смеси (ХТС), песчано – глинистые смеси (ПГС) и др. В основном, в качестве материала для литья в ПГС применяется чугун, который обладает хорошей жидкотекучестью и малой усадкой.

В работе представлен анализ нескольких литниково – питающих систем (ЛПС) для получения отливки «Шкив» (Рис.1), изготавливаемой из высокопрочного чугуна марки ВЧ35 литьем в песчано-глинистые смеси.



а) б)

Рис. 1. а) изготавливаемая отливка, б) конечная деталь «Шкив»

Исследование проводилось в пакете программ FLOW-3D. По результатам анализа были выявлены усадочные дефекты, которые необходимо компенсировать с помощью установки прибыли. Расчет прибыли был произведен по методу Й. Пржибыла.

Оптимальная конструкция ЛПС разрабатывалась с учетом следующих требований: 1) обеспечить ламинарный р ежим течения расплава по каналам литейной формы; 2) не допустить размыв формы, т.е. попадание кусочков материала формы в тело отливки; 3) обеспечить рациональное распределение температур в охлаждающейся отливке.

Литература

1. *Трухов А.П.*Технология литейного производства:Литье в песчаные формы.– М.:Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.

Беляков А.И., Беляков А.А., А.А. Жуков Применение чугуна с шаровиднымграфитом. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008,№1. – С.3-10.

УДК 621.742.5.06

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЕМ

Андрей Дмитриевич Новичков

Студент 6курса, специалитет,
кафедра «Литейные технологии»,
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Д. Н. Карпенко,
ассистент кафедры «Литейные технологии»

Целью работы было построение математической модели адаптивной системы управления смесеприготовлением, которая позволит в автоматическом режиме определять требуемое количествоосвежающих добавок для поддерживания требуемогосостава смеси.Статьи [1; 2] указывают, что содержание влаги и бентонита оказывает определяющее влияние на свойства смеси.

Чтобы получить формульные зависимости, необходимые для создания математической модели, были оцифрованы и аппроксимированы графики из статей [1;2]. Для оцифровки использовали программу Романа Осипова для оцифровки графиков [3], написанную в среде

WolframMathematica. Аппроксимация оцифрованных зависимостей была выполнена посредством встроенных функций *WolframMathematica*. В результате получены формульные зависимости: газопроницаемости от влажности, оптимальной влажности от процента бентонита, прочности на сжатие от процента бентонита, времени перемешивания от содержания бентонита и номограмма для определения степени освежения песчано-бентонитовых смесей.

В модели учитываются следующие свойства смеси: газопроницаемость, прочность на сжатие и на срез.

Все данные, используемые в модели можно разделить на четыре группы:

- параметры литейной технологии;
- параметры смесеприготовления;
- параметры смеси;
- параметры точности дозирования.

Исходными данными являются параметры литейной технологии, такие как:металлоемкость формы, количество мелкой фракции, потери при прокаливании, точность дозирования каждого из компонентов.

Выходные данные: параметры смесеприготовления (время перемешивания и состав смеси) и параметры смеси (свойства смеси с учетом погрешности).

Модель состоит из трех блоков:

- блок расчета освежения;
- блок параметров смесеприготовления;
- блок параметров управления.

Структурно модель работает следующим образом.

1. Блок предварительного расчета на основании исходных данных с помощью номограммы рассчитывает необходимое количество освежающих добавок.
2. Блок параметров смесеприготовления на основании этих данных, а также данных по составу оборотной смеси с помощью простых процентных соотношений рассчитывает состав твердых компонентов смеси. С использованием аппроксимированных зависимостей получаются оптимальные для текущего состава значения влажности и времени перемешивания.
3. Блок параметров управления использует аппроксимированные зависимости, чтобы на основании данных по составу и влажности рассчитать значения контролируемых свойств смеси. Для расчета погрешностей свойств используется моделирование методом Монте-Карло с использованием тех же зависимостей при том же составе, с учетом известной точности дозирования.

Описанная модель позволяет по известным параметрам литейной технологии не только рассчитывать требуемый состав смеси, но и ожидаемые свойства с учетом погрешностей, вызванных неточностями дозирования компонентов. Данные модели могут динамично обновляться в каждом цикле смесеприготовления. Все это позволяет использовать созданную модель как часть адаптивной системы управления смесеприготовлением.

Литература

1. *Карпенко В. М., Филипенко Е. В.* Разработка автоматизированной системы управления свойствами формовочной смеси на основе регулирования ее состава // Библиотечка литейщика. – 2016. – № 2. – С. 21–25.

2. *Исмаилов Н. Ш., Дышин О.А.* Оптимальные физико-механические свойства формовочной смеси на основе полного факторного эксперимента// Литейное производство. – 2010. – № 7. – С. 12–18.

3. *Осипов Р.* Программа для оцифровки графиков [Электронный ресурс] // wolframmathematica.ru.URL: http://wolframmathematica.ru/forum/готовые-программы/13228-программа-для-оцифровки-графиков-с-изображений-фото-и-т-п (дата обращения: 22.09.2016).

ФОРМОВКА В КОСМИЧЕСКОМ ПЕСКЕ

Нурлан Фейзуллаевич Нуралиев

Студент 5 кура.
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Ю.Коротченко,
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Литейные технологии»

Применение доступных и технологичных материалов повышает эффективность мелкосерийных и индивидуальных производств. Одним из таких материалов является так называемый космический песок.

Космический (кинетический) песок – это уникальный материал, способный длительное время сохранять заданную конфигурацию. В данной работе были рассмотрены возможности применения данного материала в рамках литейного производства.

Кинетический песок состоит на 98% из кварцевого песка и 2% из полидиметилсилоксана–Рис.1. Полидиметилсилоксан (ПДМС) – химическое соединение, линейный полимер диметилсилоксана.

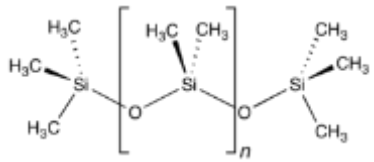


Рис.1 – химическая формула полидиметилсилоксана

Для проведения эксперимента необходимо было убедиться в том, что полидиметилсилоксана не является токсичным. Согласно NFPA 704 (NFPA – американский стандарт, определяющий риск использования материалов) полидиметилсилоксан имеет следующую маркировку (Рис.2):

Рис.2 – маркировка полидиметилсилоксана по NFPA

Согласно данной маркировке данный полимер не представляет опасности для здоровья, и ведёт себя стабильно при высоких температурах. Основываясь на этих данных был проведён эксперимент. В литейном цеху кафедры МТ5 была заформована модель в виде медальона с изображением Посейдона. Космический песок, для экономии материала, был использован в качестве облицовочной смеси, в качестве наполнительной смеси была использована смесь, состоящая из кварцевого песка и каолиновой глины. Во избежание прилипания облицовочной смеси к модели, была использована графитовая стружка. Заливаемый сплав – АЛ9 при температуре 710°С.

На основании проведённого эксперимента можно сделать следующие выводы: космический (кинетический) песок применим для использования в качестве облицовочной

смеси при изготовлении штучных отливок из цветных сплавов в литейном производстве. Однако данная смесь не выдерживает конкуренции перед «классическими формовочными смесями» при мелкосерийном и массовом производстве ввиду высокой стоимости.

Литература

1. *Magic sand // https://en.wikipedia.org/ URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Magic_sand (дата обращения: 15.02.2017).*
2. Material composition and method for its manufacture // http://www.google.com.br/patents/ URL: http://www.google.com.br/patents/EP2054128A1?cl=en (датаобращения: 11.02.2017).

УДК 621.74.019

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИБЫЛИ ДЛЯ ОТЛИВКИ С ЗАТРУДНЕНОЙ УСАДКОЙ

Евгения Алексеевна Парий

Студент 5-го курса
Кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.С. Ларичев,
ассистент кафедры "Литейные технологии"

В работе, представленной на конференции «Научная студенческая весна: Машиностроительные технологии 2016» «Исследование влияния напряженно-деформированного состояния на образование пористости», был сделан вывод, что учет влияниянапряженно-деформированного состояния на пористость при моделировании затвердевания отливки невозможен, что приводит к несовпадению экспериментальных данных с результатами моделирования.

При помощи прибылей можно обеспечить необходимую плотность отливки, однако при их расчете необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние.

В работе представлены размеры прибылей полученные без учета напряженно-деформированного состояния и для каждого варианта отливки по три увеличенных прибыли. Было проведено моделирование процессов затвердевания отливок с различными прибылями в пакете программ Flow 3D. Путем сравнения результатов моделирования определены оптимальные размеры прибыли.

Литература

2. *Кашуба К. А., Парий Е. А.* Исследование влияния напряженно-деформированного состояния на образование пористости. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 5 – 8 апреля, 2016, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2016.– № гос. регистрации 0321601363.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=1700 (дата обращения: 01.03.2017).– Загл. с экрана.
3. *Ларичев Н.С.* Влияние деформированного состояния на расчет пористости в отливках // Литейщик России. 2015. № 10. с. 39-43
4. *Поляков С., Коротченко А.Ю., Баст Ю*. Новая форма критерия Нияма для предсказания пористости при затрудненной усадке отливок из Al-Cu сплавов // Литейщик России. 2012. № 4. с. 23-30.

УДК621.74.04

ПРИМЕНЕНИЕ FDM 3D ПРИНТЕРА В ЛИТЬЕ ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Пуклинов Дмитрий Владимирович

Магистрант 1 курса,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина, старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

В данной работе рассматривается применение FDM 3D принтера для построения модели из полиметилметакрилата (ПММА). Материал выбран из соображений минимальной зольности среди филаментов применяемых в FDM принтерах. Дальнейший технологический процесс традиционен для литья по выжигаемым моделям. В работе рассматривается получение модели из ПММА на 3D принтере, подготовка модели и формы к заливке, заливка и обработка отливки.

УДК 621.762.3
УДК 621.74.042

ИЗГОТОВЛЕНИЕ «ЗЕЛЕНОЙ» MIM-ДЕТАЛИ НА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ УСТАНОВКЕ

Николай Александрович Ромашов,Олег Геннадьевич Карапузов

Магистр 2 года,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Семенов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Технология инжекционного литья полимеров наполненных металлическим порошком (MIM) на сегодняшний день занимает одну из ключевых позиций в изготовлении мелких фасонных заготовок сложной конфигурации, почти не требующих дополнительной механической обработки. В мировой практике объемы продаж оцениваются более чем в 1 миллиард долларов в год, а большинство отраслей машиностроения, в том числе вооружение, авиация и космонавтика, заинтересованы в применении данной технологии [1]. Современный рынок MIM производств сегодня сосредоточен за рубежом, в то время как российский рынок только начинает осваивать данную технологию. Снижение патентной активности в данном направлении, проявившееся с 2005 года, можно расценить или как нежелание раскрывать наработки в данной области, или как их отсутствие [1].Работы по изготовлению «зеленой» MIM-детали на центробежной установке, развиваемые в МГТУ им. Баумана, по нашему мнению нигде не проводились [6]. Освоение и изучение новых способов воздействия на расплавленный фидстокс целью формирования изделий определенной конфигурации позволит создать новый конкурентоспособный отечественныйметод получения сложных фасонных заготовок.

В работах [3, 6] показана возможность изготовления образцов «зеленой» детали на центробежной установке. Нагрев гранулированного фидстока в оснастке проводился в следующем порядке. Предварительно заполненные фидстоком формы устанавливались в специальную оснастку,которая помещалась в муфельную электропечь, где осуществлялся ее нагрев. С целью уменьшения потерь тепла в формах во время их вращенияодновременно

включали нагревательные элементы центробежной установки. При достижении заданной температуры оснастка извлекалась из печи и устанавливалась на стол центробежноймашины. Из-за перемещения разогретой оснастки вне печи с целью компенсации потерь тепла осуществлялся ее избыточный нагрев, что, в свою очередь, негативно влияло на полимерное связующее фидстока. В представленной работе рассматривается несколько вариантов нагрева:

– нагрев в печи с перестановкой в центробежную машину;

– нагрев в установке без вращения;

– нагрев в установке с малой частотой вращения.

Проанализировав достоинства и недостатки возможных схем нагрева, выбрантретий вариант: нагрев в установке с малой частотой вращения.

С целью получения фасонного изделия после расплавления гранул и достижения необходимой температуры оснастки обрабатываемый материал подвергался воздействию поля центробежных силпри заданных частотах и временных интервалах.

Второй частью работы является исследование качества полученных образцов изделий. Для этого изготовлены шлифы и проведена оценка пористости с помощью пакета программы KSLITEv.2.0. Твердость полученных образцов определялась на твердомере «EMCOTESTDuraScan 20». Результаты исследования обработаны, обобщеныи подготовлены для патентования способа.

Литература

1. *R.M.GERMAN*, Metal powder injection molding (MIM): Key trends and markets // handbook of metal injection molding, Woodhead Publishing Limited, 2012.
2. *E.Baril, Y.Thomas, J-F.Hetu, S.Pelletier*, National Research Council Canada – Industrial Materials Institute; M. Boisclair, B. Julien, Maetta Sciences, Powder Injection Molding (PIM) for Low Cost Manufacturing of Intricate Parts to Net-Shape. May 2006.
3. *Ромашов Н. А., Карапузов О. Г.* Изготовление фасонной "зеленой" детали. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 5 – 8 апреля, 2016, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2016.– № гос. регистрации 0321601363.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=1724 (дата обращения: 13.03.2017).– Загл. с экрана.
4. *Погодина Е*. Литье порошковых смесей // Пластикс. 2013. № 6. С. 34-36.
5. *ZHENG Zhen-xing*, *XIA Wei*. Numericalsimulationoftungsten alloy in powder injection molding process // Science direct. 2008. № 18. PP. 1209-1215.
6. *Русланцев А. Н.* Конструирование установки и разработка режимов центробежного литья стальных деталей PIM-методом для получения изотропных и градиентных свойств: магистерская диссертация. М., 2013.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОРПУСОВ ИЗ ВЧ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛИТНИКОВО-ПИТАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ

Никита Валерьевич Савельев[(1)], Александр Сергеевич Ефремов[(2)]

Студент 5 курса[(1)], студент 6 курса[(2)]
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель:В.И.Семёнов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Была спроектирована горизонтальная литниково-питающая система для изготовления отливки «Корпус редуктора», представляющую собой оригинальную конструкцию с преобладающей толщиной стенки 8 мм и большим количеством тепловых узлов.

За счет использования протяженных каналов литниковой системы, многочисленных питателей, установленных по всему периметру отливки, «холодильников» и открытых прибылей были созданы благоприятные условия для затвердевания металла с минимальным количеством усадочных дефектов, что подтверждают исследования технологии в пакете программ Flow-3D. Стоит отметить, что сплав ВЧШГ-40(50) отличается хорошими литейными свойствами (малые линейная и объемная усадки), которые были учтены не в полном объеме при моделировании. Данная технология должна гарантировать получение отливки с необходимыми механическими свойствами.

Также имеется возможность усовершенствования технологии путем изменения питающего коллектора, который позволит достичь снижениярасхода металла и повысить качество выходного продукта.

Литература

Чернов В.С. О механизме модифицирования металлов / *В.С. Чернов, Ф.И. Бусол* // Изв. АН СССР. Металлы. 1975.

УДК 621.74.045

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ПСЕВДОКИПЯЩЕМ СЛОЕ ОГНЕУПОРНОГО МАТЕРИАЛА

Екатерина Андреевна Устинова

Студент 6курса,
кафедра«Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А.Мандрик,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Процесс изготовления керамических форм - это очень сложный этап в процессе получения готовой отливки. Ведь от качества формы зависит геометрия и наличие брака в готовом изделии. Нами было принято решение смоделировать такую ситуацию, когда в пескосып с псевдокипящим слоем воздух подается не только снизу, но еще и сбоку. И необходимо посмотреть будут ли боковые прорези как-то влиять на витание частиц в псевдоожиженном слое.

Для решения этой задачи мы построили математическую модель процессов витания частиц огнеупорного материала по источникам [1, 2, 6]. Далее рассчитали параметры газораспределительной решетки и определили, при каком давлении и расходе воздуха наш материал начнет витать. Данные расчеты мы проводили по рекомендациям из источников [3, 4, 5].

В нашей установке воздух подается не только снизу, но еще и через боковые прорези прямоугольного сечения. Проведя расчет для подачи воздуха снизу, мы добавили к полученным результатам составляющие скорости от боковых прорезей.

Результаты выполненного расчета представлены в таблице 1 и рисунках 1 и 2.

Таблица 1. Полученные результаты

Угол, °	U_y,м/с	U_x,м/с	U_y,м/с	U_x,м/с	U_y,м/с	U_x,м/с
	От боковых прорезей		От газораспределительной решетки		Суммарные результаты	
-0,1	2,07010	20,63194	1,99	2,83	4,06	23,46
5	0,43802	0,12957	2,00	3,12	2,43	3,24
10	0,04170	0,06432	2,00	3,29	2,04	3,35
15	0,01475	0,01723	2,00	3,40	2,01	3,41
20	0,00818	0,00366	2,00	3,48	2,01	3,48
25	0,00056	0,00418	2,00	3,53	2,00	3,54
30	0,00222	0,00035	2,00	3,58	2,00	3,58
35	0,00056	0,00117	2,00	3,62	2,00	3,62
40	0,00060	0,00054	2,00	3,65	2,00	3,65
45	0,00045	0,00028	2,00	3,67	2,00	3,67

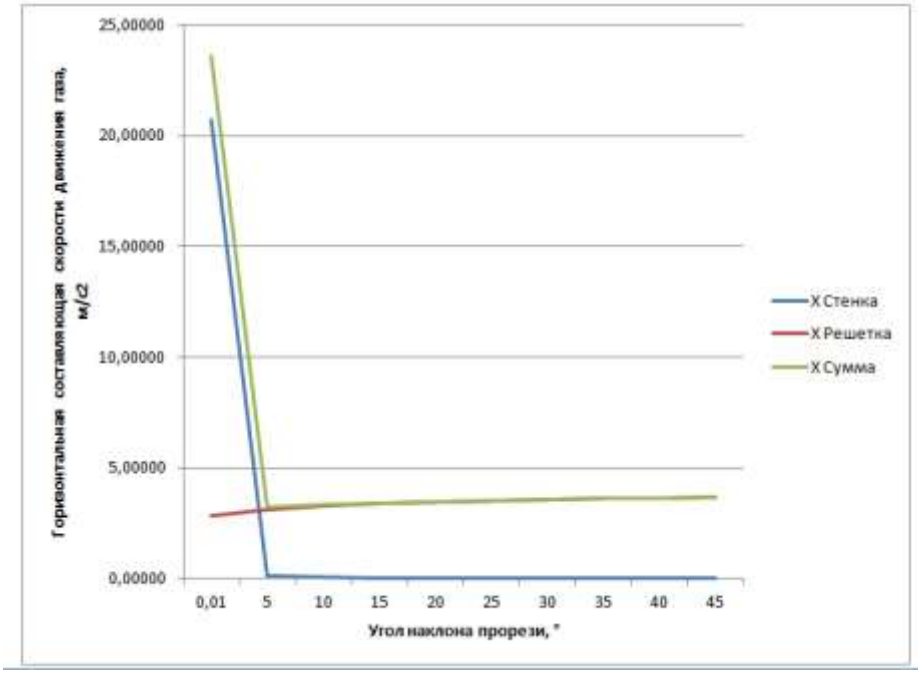


Рис. 1. График зависимостей наклона прорези от составляющих скорости, направленных по оси *x*

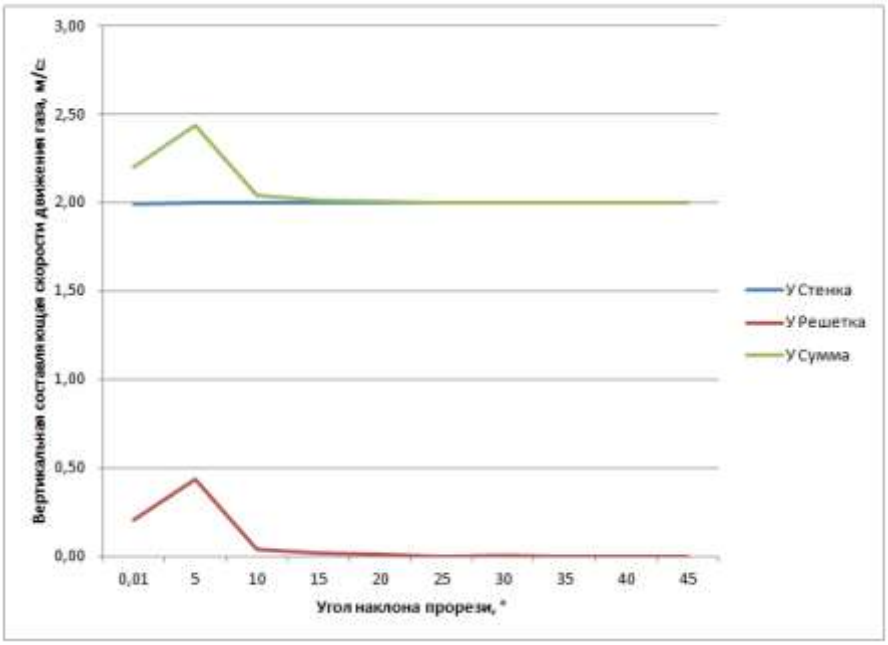


Рис. 2. График зависимостей наклона прорези от составляющих скорости, направленных по оси *y*

Выводы

1. Произведя расчет и проанализировав методическую литературу можно сделать вывод. На поток частиц в кипящем слое будут оказывать воздействие прорези, которые имеют уклон от 0° до 15°. Если прорези изготовить под большим углом, то воздействия на составляющую скорости течения газа от решетки прорези от стенки не окажут.

2. При порозности кипящего слоя ε = 0,44 мы имеем максимальное давление воздуха на слой, что свидетельствует о том, что в этот момент слой огнеупорного материала начинает «кипеть».

Литература

1. *Буевич Ю.А., Минаев Г.А., Элленгорн С.М.* – ИФЖ, 1976, т.30, №2, с.368.
2. *Буевич Ю.А., Минаев Г.А.*, Струйное псевдоожижение. – М.: Химия, 1984. – 136 с., ил.
3. *Минаев Г.А.* Докт. Дис. М., МИХМ, 1977.
4. *Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б.*, Основы техники псевдоожижения.
5. Псевдоожижение. Под ред. И. Дэвидсона и Д. Харрисона. Пер. с англ. В. Г. Айнштейна, Э. Н. Гельперина, В. Л. Новобратского под ред. Проф. Н. И. Гельперина. М., «Химия», 1974.
6. *Быстрый А.И., Квицинский В.А., Крывошеев С.И., Макарчук В.Н., Топал А.И., Хилько И.Н.*,Определение полей скоростей и концентраций частиц в кипящем слое.

УДК 621.74.045

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ В ОТЛИВКАХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-20Л

Ильнур Камильевич Фахрутдинов

Магистр 2 года,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Зарубин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Высокая активность титановых сплавов в жидком состоянии требует специальных условий плавки и заливки. Для предотвращения взаимодействия расплава с газами атмосферы рабочие элементы плавильно-заливочной установки расположены внутри герметичной камеры под вакуумом. На рис. 1 изображена схема рабочих элементов установки.

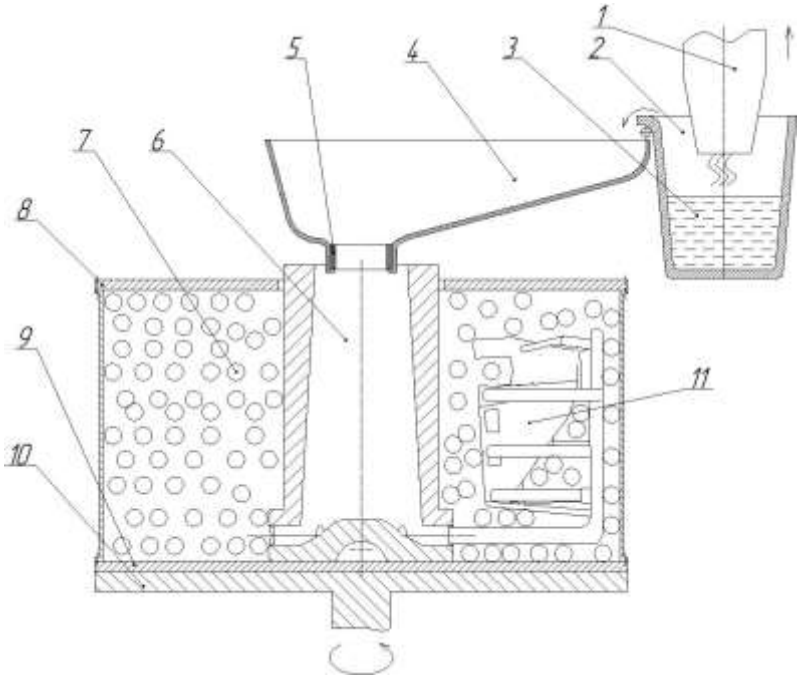


Рис. 1. Схема рабочих элементов установки.
1 – расходуемый электрод; 2 – тигель; 3 – расплав; 4 – приемно-направляющий лоток;
5 – направляющая втулка; 6 – центральный стояк; 7 – наполнитель контейнера;
8 – крышка контейнера; 9 – контейнер; 10 – центробежный стол; 11 – керамические формы

Расходуемый титановый электрод 1 наполняет тигель 2 расплавом 3, из тигля расплав по приемно-направляющему лотку 4 через направляющую втулку 5 попадает в центральный стояк 6. К центральному стояку устанавливают керамические формы 11. Все это установлено в контейнере 9 на центробежном столе 10. Под действием центробежных сил расплав из центрального стояка поступает в полость керамической формы. Таким образом, отливки получаются достаточно плотными.

Конструкция центрального стояка имеет особо-важное значение, поскольку его дно принимает и направляет расплав при заливке. От того, насколько плавно и равномерно происходит заполнение формы, зависит качество отливки.

Было спроектировано несколько вариантов конструкции центрального стояка с различной конфигурацией донной части.

В программе Flow-3D был смоделирован процесс заливки формы и центрального стояка для каждого варианта конструкции донной части. Были получены кинограммы движения расплава.

Проанализировав полученные результаты, было подтверждено, что конфигурация донной части центрального стояка имеет большое влияние на режим и характер заполнения керамической формы. Имеющийся центральный стояк не обеспечивает необходимого качества заполнения.

Для получения более качественных и бездефектных отливок необходимо применять вновь разработанный центральный стояк.

УДК 621.744.3.002.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕСКОСТРЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Анастасия Андреевна Хилкова

Студент 6 курса
Кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университетим. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И. Вербицкий
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Нет единства во мнениях о механизме пескострельного процесса, одни специалисты считают решающим фактором кинетическую энергию струи, другие – давление, создаваемое при фильтрации воздуха. Нет устоявшихся рекомендаций о выборе параметров процесса: давления, быстродействия клапана, формы и диаметра сопел, площади и расположения вент. Возможно, что и как для других динамических процессов, эти параметры для конкретной машины и стержней можно назначить только по опытным данным или же на основе содержательного компьютерного моделирования.

В данной работе рассмотрено моделирование процесса надува стержневой смесис использованием пакета программ Flow-3D, в котором для расчета применяется «Эйлеров-Лагранжевый» подход («континуально-дискретный»), где по Эйлеровому подходу воздух – непрерывная среда, а частицы песка – дискретная среда по Лагранжевому подходу. Процесс заполнения стержневого ящика позволяет использовать сокращённую геометрию, поэтому при моделировании компьютерная геометрическая модель включает в себя один стержень, сопла и венты, что позволяет снизить требующийся объём памяти и продолжительность расчёта.

Пескострельный процесс изготовления стержней предполагает высокую скорость заполнения стержневого ящика воздушно-песчаной смесью. При моделировании стержневой ящик заполняется непрерывным потоком, а не отдельными частицами песка. Двухфазная среда (воздух/песок) моделируется с использованием модели течения потока. Песок/воздушная смесь моделируется как единая жидкость с резкими границами раздела с чистым воздухом. Чистый воздух представляется в виде адиабатических пузырей. Венты моделируются как клапаны с таким же эффективным сечением.

Моделирование позволяет лучше понять механизм протекания пескострельного процесса – заполнения стержневого ящика и уплотнения смеси. Разрабатывая и исследуя различные варианты конструктивного расположения сопел и вент, и изменяя их сечения, можно найти оптимальные значения параметров, при которых можно прогнозировать качество стержня.

В результате проведенных исследований можно отметить, что подтверждается хорошее соответствие полученных результатов с технической литературой по значениям параметров давления, плотности и скорости, а так же с различными рекомендациями по расположению и сечению надувных отверстий и вент. Решающее значение для уплотнения стержневой смеси имеет кинетическая энергия струи.

Литература

1. Проектирование конструкции стержневых ящиков с помощью компьютерного моделирования процесса их заполнения: Интернет-статья. URL:www.ruscastings.ru/files/file523.pdf (дата обращения 18.09.2017).

2. Программный пакет Flow-3D*[Электронныйресурс]*. – C:\flow3d\v1104\help\index.html.

ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СОПЕЛ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ

Михаил Мишелевич Шалварян

Студент 5курса, специалитет,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина,
старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

Была спроектирована литьевая машина для литья изделий из ABS пластика. Одним из важных элементов литьевой машины является сопло. Сопло предназначено для передачи полимера из инжекционного цилиндра в форму.

Конструкция сопла влияет на множество факторов при литье.При выборе конструкции сопла опирались на свойства выбранного материала, количество материала при заливке,параметры литья и характеристики отливки.

Было выбрано самозапирающееся сопло. Самозапирающееся сопло открывается под давлением материала на упругий элемент сопла. Конструкции самозапирающихся сопел разнообразны. Были отобраны подходящие патенты самозапирающихся сопел. Провели анализ каждого сопла и выявили основные преимущества и недостатки каждого сопла. Путём сравнения полученных данных было выбрано оптимальное самозапирающееся сопло.

Выбранное сопло имело недостатки, которые были устранены путём изменения конструкции сопла. В итоге было получено сопло, отвечающее необходимым требованиям.

Литература

1. *Шалварян М.М.* Курсовой проект по Оборудованию литейных цехов 2017г.
2. Самозапирающееся сопло литьевой машины для переработки пластмасс. Номер патента: 1063616. Автор – Николаев.
3. Самозапирающийся мундштук для полимерных материалов. Номер патента: 1787806. Автор Пинтвертис, Толоцкий.
4. Сопло литьевой машины для пластмасс. Номер патента: 1151475. Авторы: Николаев, Наборщиков.
5. Сопло литьевой машины для полимеров. Номер патента: 677946. Авторы: Ащеулов, Тагунов, Межуев, Бородин.
6. Механизм впрыска литьевой машины для пластмасс. Номер патента: 870170. Авторы: Юшка, Видомский, Станкевич.

УДК621.74.043

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ "КРЫШКА МУФТЫ" И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПОРИСТОСТИ И ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Цю Тао

Магистр 2 года,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.М. Зарубин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Анализ брака отливки "Крышка муфты" показал, что в массивных бобышках имеется пористость. После механической обработки отливка работает при избыточном давлении, поэтому самое важное требование, предъявляемое к отливке, это герметичность. Так как к отливке предъявляются высокие требования по герметичности, подобный дефект не допустим. Самой важной причиной образования пористости является неправильная конструкция литниковой системы. Для решения этой задачи подготовлены исходные данные для программы Flow 3D. Моделирование процесса заполнения формы позволило оптимизировать конструкцию литниковой системы. На рис. 1приведена 3D-модель отливки с новой литниковой системой.

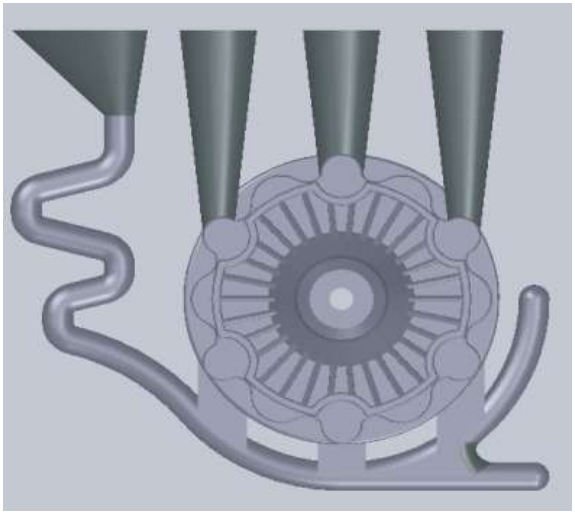


Рис. 1. 3D-модель отливки сновой литниковой системой

Согласно ГОСТ 16236-70 был спроектирован кокиль. Кокиль с вертикальным разъемом изготавливается из стали 45. На рис. 2 представлен 3D-модель кокиля, который имеет габаритные размеры 400×320×320 мм.

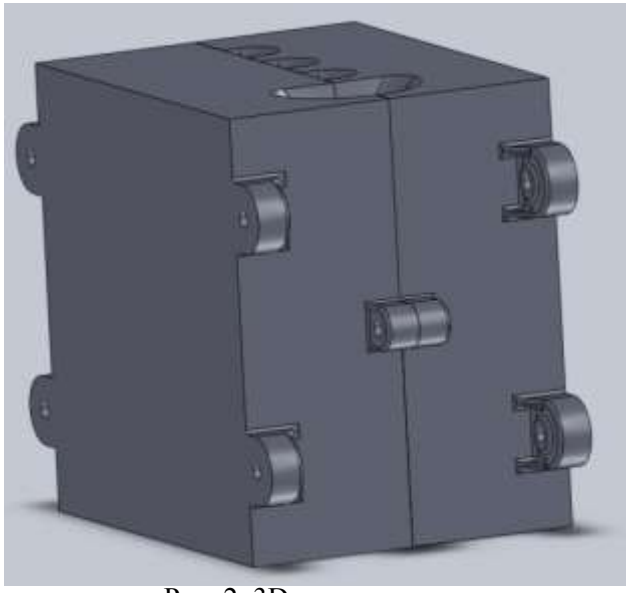


Рис. 2. 3D-модель кокиля

ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СОПЕЛ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ

Михаил Мишелевич Шалварян

Студент 5кура.
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина,
старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

Была спроектирована литьевая машина для литья изделий из ABS пластика. Одним из важных элементов литьевой машины является сопло. Сопло предназначено для передачи полимера из инжекционного цилиндра в форму.

Конструкция сопла влияет на множество факторов при литье.При выборе конструкции сопла опирались на свойства выбранного материала, количество материала при заливке,параметры литья и характеристики отливки.

Было выбрано самозапирающееся сопло. Самозапирающееся сопло открывается под давлением материала на упругий элемент сопла. Конструкции самозапирающихся сопел разнообразны. Были отобраны подходящие патенты самозапирающихся сопел. Провели анализ каждого сопла и выявили основные преимущества и недостатки каждого сопла. Путём сравнения полученных данных было выбрано оптимальное самозапирающееся сопло.

Выбранное сопло имело недостатки, которые были устранены путём изменения конструкции сопла. В итоге было получено сопло, отвечающее необходимым требованиям.

Литература

1. *Шалварян М.М.* Курсовой проект по Оборудованию литейных цехов 2017г.
2. Самозапирающееся сопло литьевой машины для переработки пластмасс. Номер патента: 1063616. Автор – Николаев.
3. Самозапирающийся мундштук для полимерных материалов. Номер патента: 1787806. Автор Пинтвертис, Толоцкий.

4. Сопло литьевой машины для пластмасс. Номер патента: 1151475. Авторы: Николаев, Наборщиков.
5. Сопло литьевой машины для полимеров. Номер патента: 677946. Авторы: Ащеулов, Тагунов, Межуев, Бородин.
6. Механизм впрыска литьевой машины для пластмасс. Номер патента: 870170. Авторы: Юшка, Видомский, Станкевич.

УДК 621.743.42

АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ПОЛЫХ СТЕРЖНЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО COLD-BOX-AMINПРОЦЕССУ

Александр Геннадьевич Шарубский

Студент 6курса,
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.М. Савохина,
старший преподаватель кафедры «Литейные технологии»

В современном отечественном литейном производстве до 72% отливок производятся методом литья в песчано-глинистые формы. А постоянно увеличивающаяся сложность литых заготовок способствует оптимизации технологического процесса, в том числе и при литье с крупными монолитными стержнями. На первый взгляд, геометрически-простые стержни легко изготавливать на современных стержневых машинах, работающих по холодным ящикам. Однако, трудности возникают при выполнении транспортных операций со стержнем и на этапе выбивки стержневого кома.

В данной статье рассматриваются возможные пути отказа от габаритных цельных стержней в пользу тонкостенных, благодаря которым сокращается количество используемой стержневой смеси и оптимизируется технологический процесс литья в серийном производстве.

Проблемы, возникающие при использовании крупногабаритных стержней:

1. Тяжелые при ручной транспортировке

В серийном производстве стержни массой до 20 килограмм извлекаются, транспортируются и устанавливаются в литейную форму операторами вручную. При литье тонкостенных отливок металлоемкость формы достаточно низкая, это в свою очередь отрицательно сказывается на мотивации рабочих мастеров к труду, так как за такое же количество времени стерженщик изготавливает и устанавливает бо́льшее количество простых и легких стержней.

2. Неэффективное использование стержневой смеси

При единичном производстве не так сильно сказывается перерасход стержневой смеси относительно изготовления более сложной оснастки. Однако в серийном производстве мы можем позволить проектирование оснастки с дополнительными конструктивными элементами для создания пустотелого стержня.

3. Проблемы при выбивке стержневого кома

На этапе выбивки затвердевшей отливки из формы обнаружилось – стержневая смесь не успевает полностью прогорать и накапливается в кусковой форме в барабане или на сите. После чего эти комья никак не участвуют в регенерации идут в отвал, что совершенно не соотносится с принципами бережливого производства.

4. Низкая податливость стержней

В ходе затвердевания металла в форме образуются напряжения, обжимающие стержень. Из-за низкой податливости массивного стержня наблюдается брак в изделиях. Уйти от этого

дефекта можно двумя путями: варьировать состав стержневой смеси и технологических параметров либо изменить конструкцию стержня – сделать его полым.

Исходя из перечисленных проблем, в качестве решения было предложено максимально возможное облегчение стержня с помощью внутреннего канала. Применение пустотелого стержня сократит время изготовления за счет меньшего объема, который необходимо продуть технологическим газом, а значит и расходного материала (газа) будет тратиться меньше, что также положительно сказывается на экономической части улучшения.

Теперь главной задачей становится поиск оптимальной толщины стенки стержня, при которой он будет одновременно сохранять свои прочностные характеристики и увеличится коэффициент полезного использования стержневой смеси.

В тоже время, нельзя забывать про конструктивные размеры вент в стержневых ящиках. Так как сделать стенку стержня тоньше, чем отверстия для наддува не представляется возможным для реализации процесса изготовления стержня по Cold-box-amin процессу.

Литература

1. *Жуковский С.С.* Формовочные и стержневые смеси. – Брянск.: БГТУ, 2002. – 470с.

УДК 621.47

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ «КОРПУС» ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА МАРКИ ВЧ40

Софья Александровна Яшина

Студент 4 курса
кафедра «Литейные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А. А. Мандрик,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Литьё в землю – наиболее распространенный способ получения отливок. Сущность его заключается в свободной заливке расплавленного металла в разовую литейную форму. После затвердевания и охлаждения отливки производится её выбивка. При этом форма разрушается.

Целью данной работы являлся выбор оптимальной конструкции литниковой системы для получения отливки «Корпус» из высокопрочного чугуна марки ВЧ40 при литье в песчаные формы.

3D-модель отливки представлена на рис. 1.

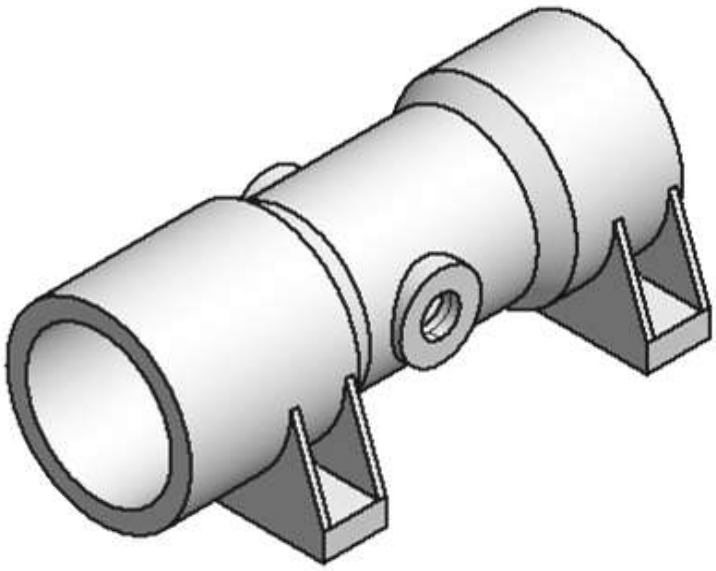


Рис.1. 3D-модель отливки «Корпус»

Литниковая система должна подводить металл в полость формы, задерживать шлак и неметаллические включения, обеспечить свободный выход газов из полости формы, исключать размывание формы, подсос воздуха, а также иметь минимально возможную массу.

На первом этапе работы проводилось моделирование процесса заливки с помощью программы flow-3D. Расчет показал удовлетворительную работу литниковой системы с точки зрения заливки.

Далее моделировался процесс затвердевания. В теле отливки были обнаружены крупные усадочные раковины. Это значит, что необходимо предусмотреть дополнительное питание узлов, затвердевающих последними. Прибыль рассчитывалась по методу Пржибыла.

Последним этапом было произведено окончательное моделирование процессов заливки и затвердевания во flow-3D. Которое показало, что крупные усадочные раковины переместились в прибыль, литниковая система работает удовлетворительно и позволяет получить отливку требуемого качества.

Секция VI

Оборудование и технологии обработки давлением

Председатель:	**Евсюков Сергей Александрович** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии обработки металлов давлением» (МТ-6)
Ученый секретарь:	**Рыжкова Александра Александровна** ассистент кафедры МТ-6

УДК 62-294.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ПРОФИЛЬНОГО КОЛЬЦА ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Андрей Платонович Кайбаров

Студент 6 курса, магистр 2 года,
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Алимов,
ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

Аэродинамические аппараты пылегазоочистки (АПА) широко применяют в различных видах производств, для очистки промышленных газовых выбросов от твердых частиц, в основном от пыли. АПА основан на аэродинамическом эффекте разделения многофазных текучих сред и состоит из цилиндрического корпуса, внутри которого размещен набор колец, расположенных соосно и имеющих аэродинамический профиль внутренней поверхности. Общий вид аппарата пылегазоочистки показан на рисунке 1.

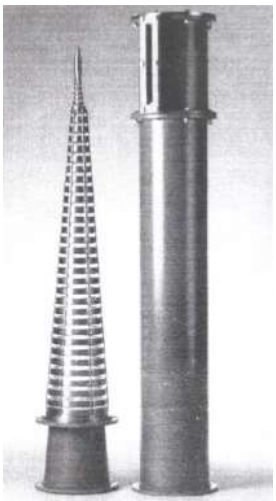


Рис. 10. Аппарат газоочистки

Чертеж профильного кольца, которому посвящена данная работа, показан на рисунке 2. Производство этого кольца является мелкосерийным и все операции, за исключением подготовительной, будут выполняться на одном универсальном прессе. Материал заготовки АД33.

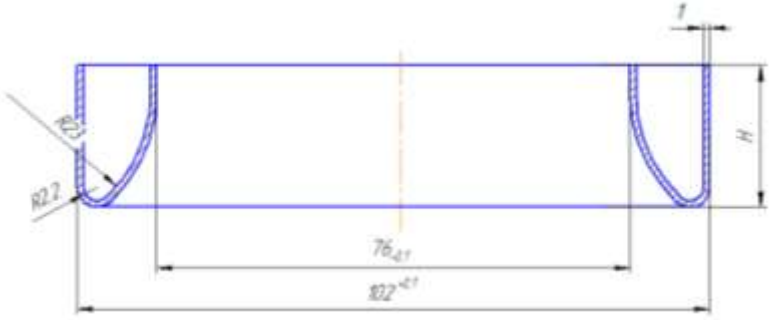


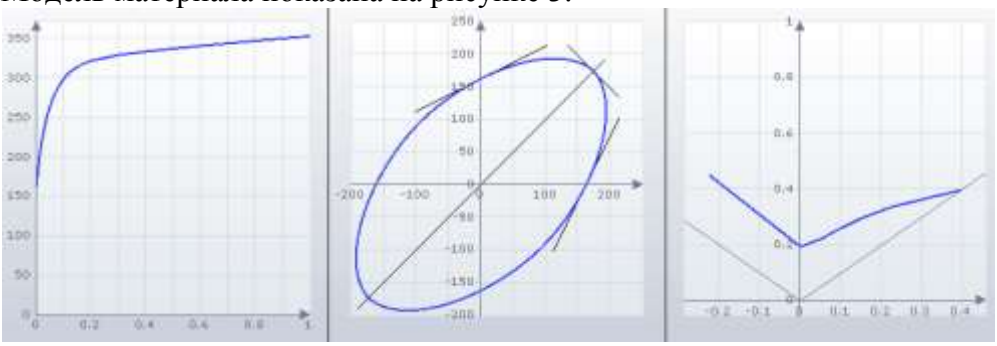
Рис. 11. Чертеж детали

Исследование совмещенной операции вытяжки и встречной отбортовки будет проводиться в программном комплексе Autoform. Библиотека материалов этой программы не содержит российских стандартов, и отсутствуют аналоги материала АД33. По этой причине проводится ряд опытов для определения основных параметров материала.

Первый опыт проводится для построения кривой упрочнения. Для этого выполняется исследование материала на растяжение (ГОСТ 1497-84). Исследование заключается в растяжении узкой заготовки до ее разрушения. Из полученной машинной кривой строится кривая упрочнения. Опыт проводится в трех направлениях относительно листа: продольном, поперечном, под углом 45 градусов.

Испытание по Эриксену (ГОСТ 10510-80) проводится с целью определения предельных деформаций для материала. Испытание заключается в формовке исследуемого материала полусферическим пуансоном. Момент образования трещины определяет предельную деформацию для двухосного растяжения.

Строится модель материала АД33 в программе Autoform, с учетом проведенных испытаний. Модель материала показана на рисунке 3.



а) б) в)

Рис. 12. Модель материала АД33

(а – кривая упрочнения, б – предельный контур пластичности, в – диаграмма предельных деформаций)

Далее производится расчет программном комплексеAutoform с моделью материала, полученной экспериментальным путем. В качестве варьируемых размеров задается наружный диаметр заготовки и диаметр отверстия. Цель расчета – получение детали без дефектов и с равной высотой наружного и внутреннего борта.

Литература

1. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и до. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
2. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977. 423 с. с ил.
3. *Петрушина М.М.*Разработка совмещенного технологического процесса вытяжки и встречной отбортовки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва – 2013.
4. *ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84).* Металлы. Методы испытания на растяжение. (с Изменениями N 1,2,3) Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2008
5. *ГОСТ 10510-80 (СТ СЭВ 478-77, ИСО 8490-86).* Метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксену. Измененнаяредакция, Изм. №2. М.: Издательствостандартов, 1993.
6. *ISO 12004-2:2008.* Metallic materials – Sheet and strip – Determination of forming-limit curves. Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory. First edition.

УДК 53.084.823

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛОТОВОЙ ШТАМПОВКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ QFORM 3D

Никита Сергеевич Копнов

Студент4курса,
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Белокуров
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

Коленчатый вал является ответственной частью деталей машин. При этом конфигурация детали очень сложная для разработки технологического процесса горячей штамповки таких поковок. Поэтому разработка рационального технологического процесса горячей штамповки [1, 2] является актуальной задачей. Наиболее оптимальным для исследования пластического течения металла при штамповке поковок коленчатого вала может служить программный комплекс QForm 3D.

В работе выполнено моделирование технологического процесса молотовой штамповки поковки коленчатого вала (рис. 1) массой 75 кг и длиной 800 мм. Выполнено моделирование в программном комплексе QForm 3D двух технологических переходов предварительной и окончательной штамповки поковки коленчатого вала на молоте. Выявлено влияние основных технологических факторов на процесс штамповки.

В качестве исходных данных для моделирования использовали следующие параметры штамповки:

- Материал заготовки: Сталь 45
- Температура нагрева заготовки: 1200 °С
- Оборудование: Молот 10Т
- Материал штампа: 5ХНМ
- Температура подогрева инструмента: 250 °С
- Параметры смазки: Графит + вода
- Количество ударов: 4

В настоящее время рассматриваются варианты перевода штамповки данной поковки коленчатого вала с молотовой штамповки на штамповку на кривошипной горячештамповочной машине.

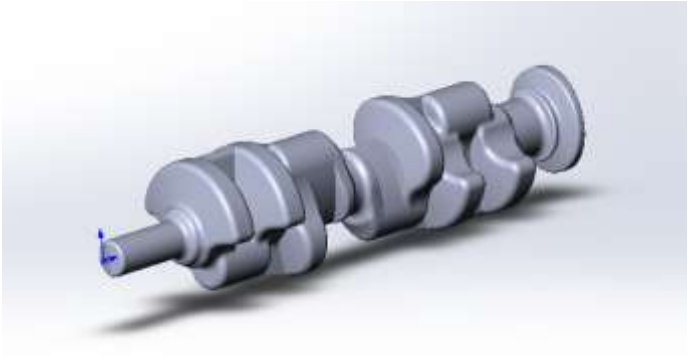


Рис. 1. Трехмерная модель коленчатого вала

Литература
1. Ковка и штамповка. Справочник, в 4 т., Т.2. Горячая штамповка/ Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1986. – 592с.
2. Ковка и штамповка. Справочник, в 4 т., Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка/ Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1986. – 592с.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ ОТВЕРСТИЯ ПОД РЕЗЬБУ

Вячеслав Александрович Костылев

Студент 5 курса
Кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Виктор Алексеевич Демин
Профессоркафедры «Технологии обработки давлением»

В машиностроении существует большое количество деталей, требующих бортового элемента с нарезанной внутри него резьбой. В случаях, когда требуется резьба больше М6, технологический процесс включает в себя операцию пробивки отверстия в детали с последующей приваркой гайки. Для повышения эффективности было предложено другое решение данной проблемы – процесс отбортовки отверстия с последующей осадкой борта в торец с целью получения большей цилиндрической части борта для нарезки резьбы.

С помощью программного комплексаQFormVXсоздана математическая модель процесса последовательной отбортовки и осадки отверстия, с целью определения предельных деформаций в процессе штамповки.

В литературе наибольшее распространение получили следующие критерии разрушения:

- Критерий Колмогорова
- Критерий Калпина
- Критерий Кокрофта.

Критерий разрушения Кокрофта является стандартным критерием для QForm. Для критерия Колмогорова и Калпина нами написана специальная подпрограммав форматеLua.

Проведено моделирование исследуемых процессов и экспериментальная штамповка. Эксперименты показали, что разрушение происходит на торце отбортованного отверстия с внешней стороны. Однако, только расчет по критерию Колмогорова показал правильное место разрушения.

После проведения отбортовки, для увеличения цилиндрической части,производиласьосадка. Так как критерий Колмогорова предназначен для монотонной деформации, то перед осадкой было принято решение пересчитать критерий Колмогорова, как отношение накопленной деформации к предельной деформации при осадке.

Осадка производилась до получения наибольшей высоты цилиндрической части и моделированиеи эксперимент показали большой запас пластичности.

Выводы:

1. Применение отбортовки с последующей осадкой позволяет получить высоту борта необходимую для нарезки резьбы М12.

2. Из рассмотренных трех критериев разрушения для процессов отбортовки и осадки наиболее подходит критерий Колмогорова.

Литература

1. *Демин В.А.* Проектирование процессов толстолистовой штамповки на основе прогнозирования технологических отказов. М.: Машиностроение-1, 2002. -186 с., ил.

УДК 621.7.043

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРЕДЕЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРОГРАММЕ QFORM

Вячеслав Александрович Костылев

Студент 5 курса, специалитет
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А. М.Дюжев,
ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

Существует большое количество программ для моделирования процессов листовой штамповки. Наиболее распространенным подходом является применение оболочковых конечных элементов. Однако в некоторых случаях приходится прибегать к применению программ, моделирующих объемную штамповку, в частности,QForm.Для оценки результатов штамповки традиционно применяется FLD-диаграмма, которой нет в QForm.Подход к созданию пользовательской подпрограммы, решающей эту задачу, представлен ниже.

Диаграмма предельных деформаций (FLD) строится в осях главных деформаций в плоскости листа. Обычно в ней выделяется 6 зон, характеризующих поведение металла в точке с соответствующим НДС. Проблема построения этой диаграммы в QForm заключается в нахождении главных деформаций в плоскости листа. В данной работе рассмотрено 4 подхода решения этой проблемы:

1. Так как традиционно считается, что нормальная к поверхности листа составляющая тензора напряжений является главной и близкой по модулю к нулю по сравнению с остальными главными, была предпринята попытка принять направление пренебрежимо малого напряжения за направление нормали к поверхности. Однако направления деформации не соответствуют направлениям напряжений. Тогда можно либо для главных деформаций найти значения нормальных напряжений в соответствующих направлениях и отбросить деформацию, которой соответствует минимальное по модулю напряжение, либо отбросить одно из главных напряжений, принять напряжённое состояние плоским и найти главные деформации в плоскости листа. Этот подход не работает в отношении свободных поверхностей заготовки, для которых главные напряжения примерно равны.
2. Рассмотрен вариант нахождения нормали к плоскости листа геометрической обработкой полигональной поверхности заготовки. Этот метод трудоёмок и сложен в реализации применительно к QForm в связи с особенностями механизма выполнения пользовательских подпрограмм. В частности, одним из минусов метода является запаздывание на один шаг расчёта, что может оказаться критичным при решении некоторых задач.
3. В качестве решения проблемы запаздывания предыдущего метода была рассмотрена возможность использования локальных координат конечных элементов; подход состоит в

задании начального направления нормали к поверхности для каждого узла заготовки и последующего поворота этих векторов вместе с локальными системами координат содержащих их элементов. Однако было замечено, что в местах интенсивного утонения заготовки поворот трассируемого вектора осуществляется быстрее необходимого, и его направление перестаёт соответствовать нормальному к поверхности заготовки.

4. В качестве альтернативного способа нахождения нормальных векторов предложено использование стандартных полей, содержащих нормали к поверхностным узлам. Для внутренних узлов заготовки при этом направления нормалей берутся с ближайшего поверхностного узла.

При известном значении нормали n_n к поверхности листадля расчета главных деформаций применяется следующий алгоритм:

1. находятся два единичных вектораn_t и n_r, составляющих с исходным нормальным правую тройку. При этом их направление произвольно;
2. находятся значения деформаций ε_t, ε_r и γ_{rt};
3. осуществляется поворот векторов вокруг нормали для нахождения значений главных деформаций в плоскости листа:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_r}{2} \pm \frac{\sqrt{(\varepsilon_t - \varepsilon_r)^2 + 4\gamma_{rt}^2}}{2}.$$

Описанный алгоритм реализован в виде постпроцессорной пользовательской подпрограммы QForm на языке Lua. Исходными данными для её работы являются кривая предельных деформаций, соответствующая материалу заготовки, а также набор параметров, управляющих качеством расчёта и выходными данными. В качестве выходных данных выступают следующие поля заготовки:

- главных деформаций в плоскости листа;
- отношения максимальной главной деформации ε_1 к предельной деформации при соответствующем значении минимальной главной деформации$\varepsilon_{1\,\mathrm{lim}}(\varepsilon_2)$;
- принадлежности точек заготовки различным зонам диаграммы предельных деформаций.

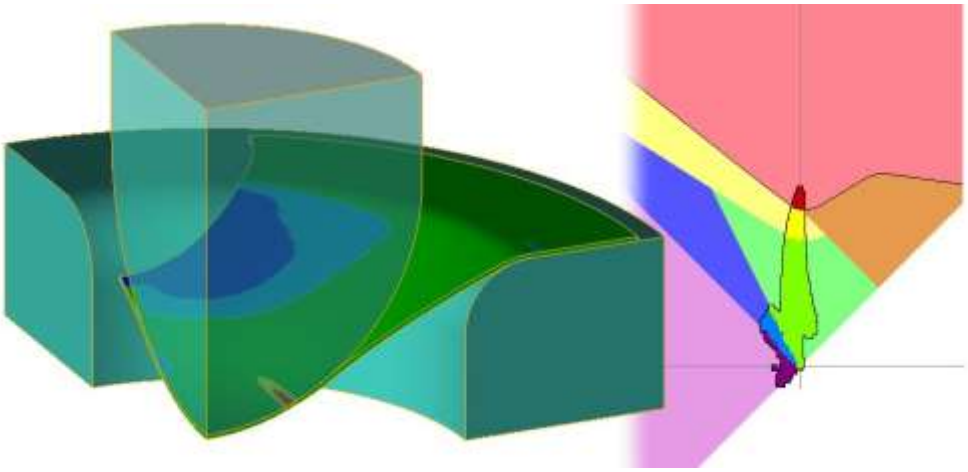


Рис. 1. Пример работы подпрограммы

Литература

1. *Изосимова С. В.* Исследование влияния формы заготовки на точность построения диаграммы предельных деформаций. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.– № гос.регистрации 0321300796.– URL: studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=810

2. *Marciniak, Z.; Duncan, J. L.; Hu, S. J.* (2002). Mechanics of sheet metal forming. Butterworth-Heinemann. p. 69-70. ISBN 0-7506-5300-0

УДК:621.7.043(073):539.43

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОКОВКИ ДЕТАЛИ «КРОНШТЕЙН» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Дмитрий Витальевич Кривенко

Студент 5 курса,
Кафедра «Технологии обработки давление»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Власов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давление»

Неотъемлемым атрибутом современного процесса проектирования технологии объёмной штамповки является применение специализированных программных комплексов. Они позволяют предсказать течение металла в процессе штамповки, оценить энергосиловые параметры процесса, спрогнозировать возможные дефекты поковки. Одной из важных характеристик разрабатываемого штампа является его стойкость, и числовая оценка стойкости штампового инструмента – важный параметр, который хочет получить инженер-проектировщик в процессе работы. В настоящей работе применяется программа QForm V8, для которого была создана пользовательская подпрограмма расчеты стойкости инструмента.

Основными процессами, определяющими долговечность работы штампа, являются износ и усталостное разрушение. В основе работы используемой подпрограммы использована методика расчета усталостной долговечности штампов, учитывающая не только упругие деформации, но и накопленные пластические деформации с учетом термоциклического разупрочнения на основе деформационно-кинетического критерия разрушения, описанная в работе [1]. Результатом расчёта является поле значений предельного количества циклов нагружения в каждой точке инструмента.

Для исследования был взят молотовой штамп для производства детали типа кронштейн. Штамповка производится на молоте с МПЧ 2 тонны и энергией удара 50 КДж. В реальном производстве штамп разрушается после производства ~500 поковок. При моделировании было получено, что в различных точках опасного сечения количество циклов нагружения до разрушения варьируется в диапазоне 300 –

600циклов.

Исходная технология производства данного кронштейна содержала в себе два ручья: предварительный и окончательный. Разрушение происходило в нижнем штампе окончательного ручья на галтельном переходе от горизонтальной части к вертикальной стенке. Моделирование исходной технологии штамповки позволило выявить следующие причины появления трещин:

- избыточный объем исходной заготовки;
- избыточное формоизменение в предварительном ручье;
- нерациональная конструкция окончательного ручья;
- высокая остаточная энергия последнего удара.

Из-за большого объема металла в предварительном переходе возникал облой. В процессе штамповки в окончательном ручье объем метала, вытесненного в облой, увеличивался. К

концу штамповки деформировался уже только облой, а пятно контактамежду верхним и нижним инструментом значительно увеличивалось за счёт площади образовавшегося торцевого заусенца. Верхний инструмент, как клин, распирал нижний инструмент, воздействуя на вертикальные стенки через облой, что приводило к большим растягивающим напряжениям в опасном сечении.

Анализ напряженного состояния материала инструментов показал, что на начальном этапе штамповки в окончательном ручье напряженное состояние в опасном сечении близко к двухосному растяжению, значения первого и второго главных напряжений положительны, в то время как третье отрицательно, а его величина в 3–4 раза меньше первого, при интенсивности напряжений 800 МПа. Во время этапа доштамповки первое главное напряжение увеличивается до 1300–1400 МПа, величины второго и третьего меньше в несколько раз, что делает напряженное состояние близким

к одноосному растяжению, при интенсивности напряжений 1500–1600 МПа. Таким образом, в опасном сечении реализуется пульсационный цикл с амплитудой напряжений 750 – 800 МПа.

В результате проведенных изменений характер напряженного состояния не изменился, однако интенсивность напряжений на этапе доштамповки снизилась до 1250–1350 МПа, а также уменьшилось значение максимального первого главного напряжения. Расчеты показали, что прогнозируемая стойкость штамповой оснастки повысилась до 2800 циклов.

Применение методики оценки долговечности штамповой оснастки с использованием предложенной подпрограммы позволяет использовать критерий стойкости штампов при разработке технологического процесса штамповки.

Литература

1. *Власов А.В.* Термомеханическая усталость штампов для горячей штамповки//Сталь. – 2016. – №5. – с.49-53.

УДК 621.777.01

ИНТЕРАКТИВНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ

Дмитрий Витальевич Кривенко, Андрей Игоревич Смирнов

Студенты 5 курса
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Дюжев,
ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

В современном мире одним из определяющих экономику факторов является массовое производство. В таких условиях широкое применение находят процессы обработки металлов давлением, имеющие ряд преимуществ:

- производительность,
- номенклатура изделий и используемых материалов,
- возможная степень автоматизации производства,
- экономия материала.

Однако проектирование технологического процесса производства штамповки является сложной задачей, требующей опыта конструктора в разработке таких технологий.

Литература по обработке металлов давлением содержит информацию о структуре материала, его поведении под воздействием инструмента, о конструкциях оборудования, однако не существует единой методики проектирования процессов обработки давлением. Для удобства проектирования необходимо для каждого этапа разработки технологического процесса иметь пошаговый алгоритм, следуя которому можно получить рабочую технологию. Существующие же рекомендации разрознены, сильно ограниченны или сложно поддаются автоматизации, будучи ориентированы на ручной процесс проектирования.

Современное проектирование технологического процесса от начала до конца связано с использованием CAD/CAM/CAE систем. Такое взаимодействие позволяет значительно ускорить разработку и улучшить качество получаемых изделий, однако все проектные решения принимает инженер на основе своего опыта, или используя литературу. Создание интуитивной системы позволит значительно ускорить разработку и уменьшить требования, предъявляемые к инженеру-проектировщику.

На рис. 1 представлена ориентировочная блок-схема алгоритма работы предлагаемой системы, в котором выделяется несколько этапов:

- анализ исходных данных,
- создание формы поковки,
- выбор предварительных переходов,
- проектирование инструментов,
- выбор заготовки,
- моделирование,
- оценка результатов моделирования
- подготовка документации.

С помощью использования современных персональных компьютеров возможно систематизировать имеющуюся информацию, а также использовать ее для автоматизации процессов проектирования.

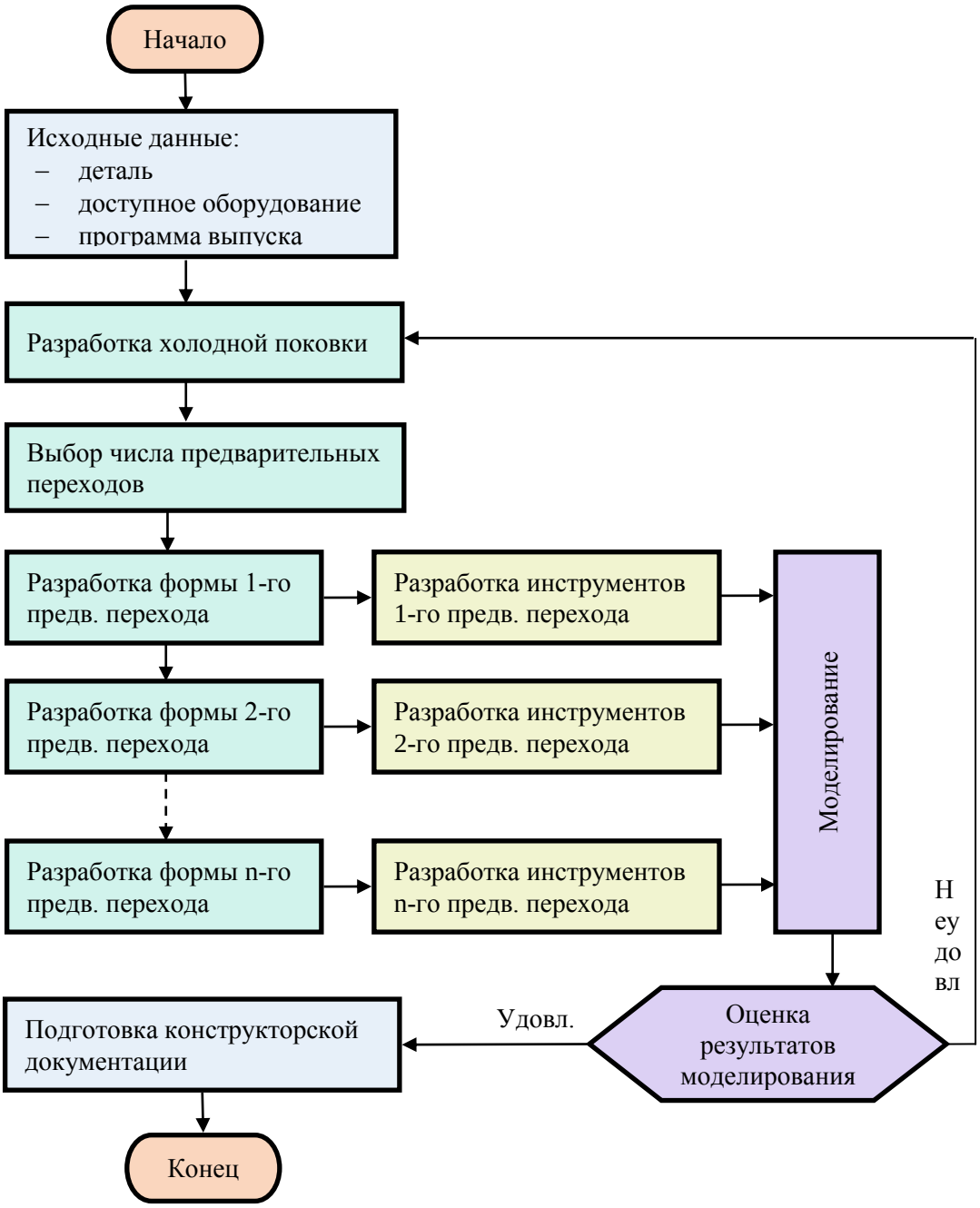


Рисунок 1. Блок схема алгоритма работы предлагаемой системы

В докладе описывается работа предлагаемого алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов обработки металлов давлением, а также рассматриваются возможности его реализации.

Литература

1. *Аксенов Л.Б.* Системное проектирование процессов штамповки. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 240 с.: ил.

2. Автоматизированное проектирование штампов: учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. проф. В. В. Морозова; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 284 с. – ISBN 978-5-89368-822-1

3. Автоматизация проектирования технологии горячей объёмной штамповки с использованием библиотеки типовых элементов конструкции поковок / И. Б. Покрас, Э. Р. Ахмедзянов, О. И. Макарова // Интеллектуальные системы в производстве – 2011 – № 2 (18).

УДК 621.7-52

ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА

Александр Владимирович Лазуткин

Студент 6 курса, магистр 2года,
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»

Условия работы электродвигателя в составе привода кривошипного пресса имеет значительные отличия по сравнению с другими машинами и устройствами. Это связано с пиковым характером нагрузок и наличием маховика в конструкции привода пресса.

Основными параметрами, характеризующими работу кузнечно-штамповочной машины при выполнении технологических операций являются технологическая сила, работа деформирования, энергетические потери в приводе и показатели долговечности.

За рабочий ход пресса маховик имеет возможность отдать только часть накопленной кинетической энергии, так как он кинематически связан с электродвигателем, и ее доля составляет 20-30%.

Запас кинетической энергии маховика: $A_м = \frac{J_M \omega_M^2}{2}$, (1),[1], где

J_M - момент инерции маховика,

w_M - частота вращения маховика

Доля отдаваемой энергии: $\Delta A_м = \frac{J_M}{2}(\omega_{M\max}^2 - \omega_{M\min}^2)$, (2)

Минимальная частота вращения ротора двигателя: $\omega_{\min} = i\omega_{M\min}$,

i - передаточное отношение,

Абсолютное скольжение: $Dw=w_0-w$, где

w_0- частота вращения поля двигателя,

w- текущее значение частоты вращения.

График изменения текущего значения частоты вращения ротораwво время работы привода представлен на рис.1.

Для снижения количества неиспользуемой энергии маховика и затрат на продолжительный разгон его до начальной частоты вращения w_0 может быть применено управление частотой вращения поля статора электродвигателя с помощью управления частотой питающего напряжения в соответствии с выражением (3)[2,3]:

$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$ (3), гдеf- частота питающего напряжения,

p-количество полюсов, w_0- частота вращения поля статора электродвигателя.

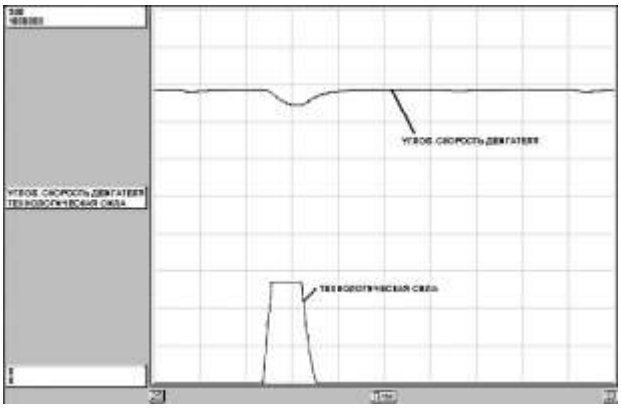


Рис.1. График изменения частоты вращения ротора

Результаты моделирования процесса штамповки на КГШП с маховичным приводом номинальной силой 25МН, проведенного в работе [4], показали, что оптимальным законом изменения частоты вращения магнитного поля статора является закон постоянства скольжения двигателя $Dw=w_0-w=const$. Причем, при поддержании постоянного скольжения, равного номинальному, обеспечивается номинальный режим его работы.

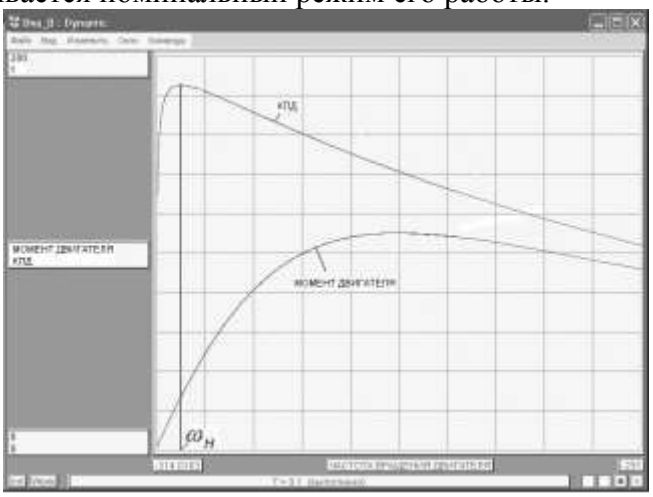


Рис. 2. Номинальный режим

Как видно из графика, полученного при моделировании (рис. 2), при работе двигателя в номинальном режиме достигается максимальный КПД.

По сравнению с результатами моделирования процесса без частотного управления (рис. 3), его использование (рис. 4) позволило значительно сузить зону скольжения Dw.

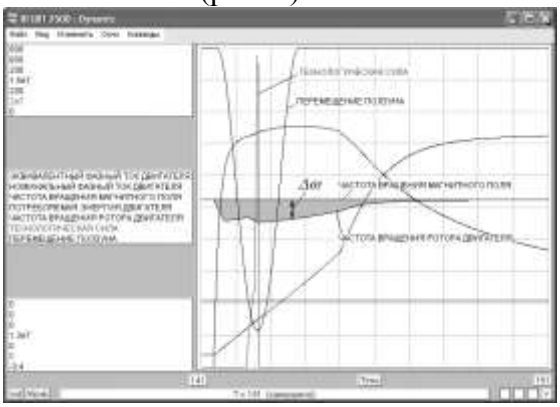


Рис. 3. Обычный цикл работы

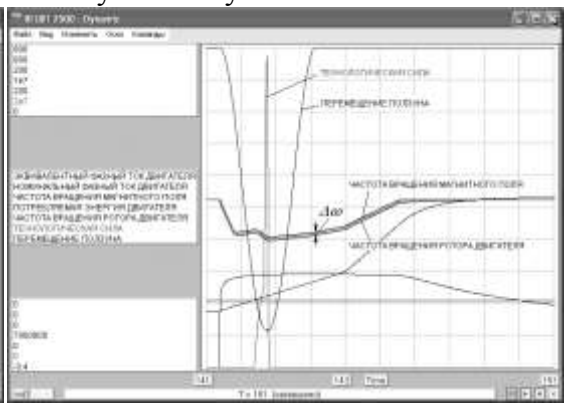


Рис. 4. Цикл работы с ЧУ

При этом, затраты энергии уменьшились на 30,23%, доля энергии, отдаваемая маховиком при рабочем ходе увеличилась до 42,74%.

Поэтому основной целью данной работы является проведение натурного эксперимента для проверки результатов математического моделирования, полученных в работе [4] и предсказывающих снижение потерь и потребления энергии.

Задачами данного эксперимента являются определение и сопоставление результатов, полученных при выполнении операций штамповки на прессе, подключенном к электрической сети постоянной промышленной частоты и в условиях постоянства скольжения электродвигателя, обеспечиваемого управлением частотой питающего напряжения.

Литература

1. *Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н.* Кузнечно-штамповочное оборудование. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006
2. *Сандлер А.С., Сарбатов Р.С.* Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., Энергия, 1974.
3. *Харизоменов И.В.* Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин. Учебник для вузов по специальности "Машины и технология обработки металлов давлением". М., "Высш. школа", 1970.
4. *Складчиков Е.Н., Овсянников В.В.* Частотное управление кривошипных прессов. Наука и образование, 2008.

УДК 621.7.043

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖКИ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Алексей Дмитриевич Пташинский

Магистр 2 года
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Я. Дмитриева,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

При вытяжке толстостенных деталей появляется ряд трудностей с определением основных параметров вытяжки, такие как зазор между матрицей, радиус скругления пуансона и радиус скругления матрицы. Теоретические расчёты не всегда применимы в прикладном использовании. Необходимо исследовать данные параметры на примере толстостенной детали и выявить оптимальные значения изучаемых параметров.

Был исследован цилиндрический стаканчик со следующими параметрами:
h= 19,95мм;
s= 3мм;
d= 27,6мм.

Из начальных параметров определятся соотношение s/Dпринятое больше 9, тем самым данная вытяжка относится к толстостенной.

При определении зазора между матрицей и пуансоном рекомендуется принимать его в расчёте из суммы толщины металла, допуска на стальной лист и допуска по толщине металла. Тем самым получаем теоретически рекомендованную величину зазора между матрицей и пуансоном, равную 3,8мм.

При определении радиуса скругления матрицы получаем теоретическое значение равное 6 толщинам, то есть 18 мм.

При определении радиуса скругления пуансона получаем теоретическое значение равное 5 толщинам, то есть 15 мм.

При проведении экспериментатолстостенной вытяжки с данными параметрами, наблюдается сильное утонение донышка стаканчика, что нарушает условие допуска на толщину донышка.

Были проведены эксперименты по нахождения оптимальных величин исследуемых параметров при помощи программного комплекса AutoFormV5.

Результатом моделирование являются оптимальные параметры для зазора и радиусов скругления матрицы и пуансона, сильно отличающиеся от теоретических:

Z=3,1мм;
Rп=7мм;
Rм=15мм.

При данных параметрах наблюдается минимальное утонение донышка равное 0,129мм, против изначального значения равного 0,347 мм.

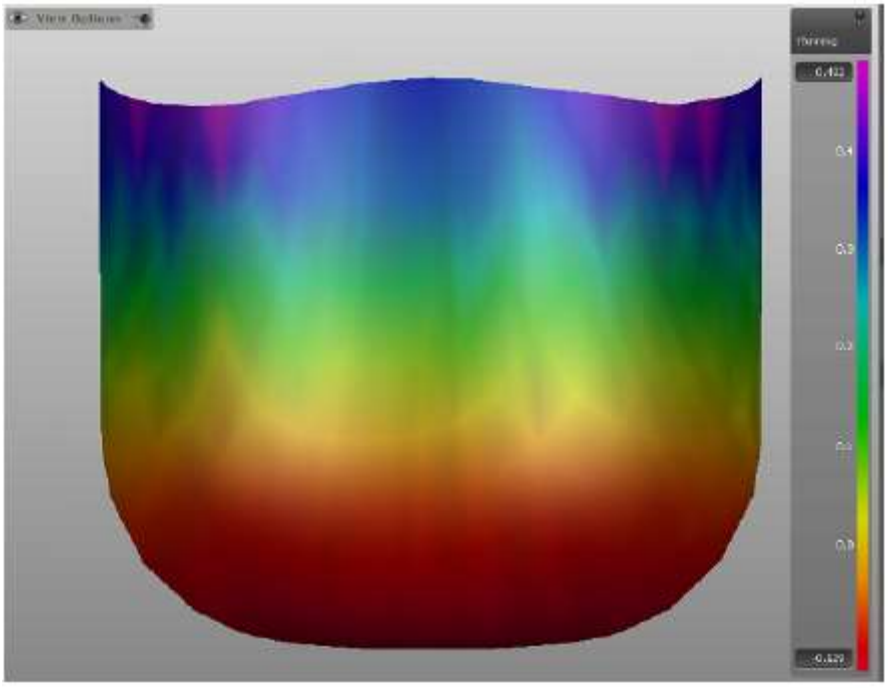


Рис.1. Утонение донышка при оптимальных параметрах.

FLD-диаграмма показывает, что процесс протекает благополучно и без дефектов.

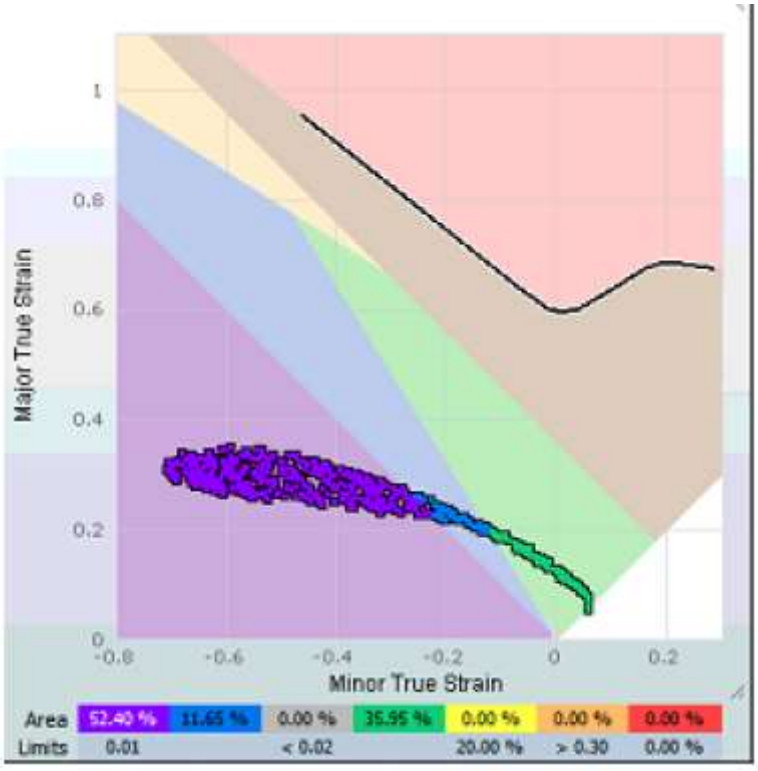


Рис.2. FLD-диаграмма.

Таким образом, в ходе данной работы были экспериментально определены оптимальные значения зазора и радиусов скругления матрицы и пуансона при тостостенной вытяжке. Данные параметры минимизируют величину утонения донышка цилиндрического стаканчика, позволяя изготовить деталь в пределах заданных допусков.

Литература

1. *Зубцов*, «Листовая штамповка» – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. *Романовский В.П.* «Справочник по холодной штамповке»— 6-е изд., перераб, и доп—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.
3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая К56 штамповка/Под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1985—1987.
4. *Малон А.Н.* «Технология листовой штамповки», 1969.
5. *Барановский М.А.* Технология листовой штамповки. ГИЗ БССР, 1957.

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЯТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕКАТАННЫХ ПОЛОС, НАПРИМЕРЕ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 45ХНМФА

Сергей Александрович Саков, Олег Валерьевич Медведев

Магистры 1 года
кафедра «Металлургия»
Московский политехнический университет (МПУ)

Научный руководитель: Р.Л. Шаталов,
доктор технических наук, профессор МПУ кафедры «Металлургия»

Представлена работа и конструкция пятироликовойлистоправильной машины (5РЛПМ) с устройством для отгибания переднего конца полосы. Показано , что правка полосы на машине, с отгибателем переднего конца, позволяет повысить качество выправляемого проката.

– повышение качества проката,
– например марки стали 45ХНМФА,
– пятироликоваялистоправильная машина(5рЛПМ),
– устройство для отгибания переднего конца полосы.

УДК 621.98

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ БОКОВОЙ ПАНЕЛИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ AUTOFORM

Андрей Игоревич Смирнов

Студент 6 курса
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Дюжев,
аспирант кафедры «Технологии обработки давлением»

Изготовление кузовных деталей является одной из самых сложных и специфичных задач в листовой штамповке. До появления специализированных программ для моделирования процессов листовой штамповки разработка технологических процессов для сложных деталей производилась на основе опыта и знаний инженера, а также его профессиональной интуиции. В связи с уменьшением времени на изготовление автомобиля и усложнением требуемой формы детали необходимы новые подходы к созданию технологического процесса. Таким подходом стало использование программ для моделирования процесса штамповки (в частности программы AutoForm), которыепозволяют достаточно быстро проанализировать штампуемость детали и оптимизировать технологический процесс.

В данной работе при помощи программного комплекса AutoForm разработан технологический процесс штамповки боковой панели автомобиля (см. рис. 1).

Рисунок 1. Модель детали

С учетом особенностей детали была предложена следующая последовательность операций технологического процесса:

- вырубка из листа;
- вытяжка;
- формовка;
- гибкаи пробивка.

Исходными данными для проектирования является трехмерная модель детали.

Оценка штампуемости детали производится на основе диаграммы предельных деформаций (см. рис.3).

Ниже приведены основные этапы разработки технологического процесса:

1. Предварительный эмпирический выбор формы вырубаемой из листа заготовки с помощью инструмента FormCheck;
2. Разработка перехода вытяжки:
   - 2.1. выбор расположения поковки в целях уменьшения глубины вытяжки,
   - 2.2. параметрическое создание переходной зоны, выбор компромиссного значения угла наклона переходной зоны между значительным увеличением размеров заготовки и увеличенной опасностью возникновения разрывов материала,
   - 2.3. исправление дефектов вытяжки посредством увеличения величин скругления, создания более плавных переходов и уменьшения глубины вытяжки в опасных зонах,
   - 2.4. изменение формы ручья штампа для вытяжки, с целью увеличения количества металла в опасных зонах при формовке,
   - 2.5. параметрическая оптимизация формы вытяжного перехода во фланцевой части детали,
   - 2.6. оптимизационный процесс выбора хода внутреннего прижима на основе диаграммы предельных деформаций (см. рис. 2);

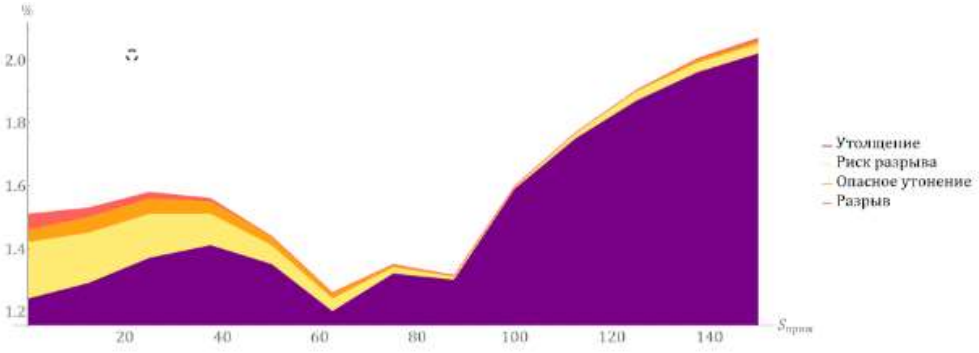


Рисунок 2. Влияние хода прижима на диаграмма предельный деформаций

3. Разработка предварительных контуров обрезки и пробивки с помощью инструмента TrimCheck;
4. Оптимизация контуров вырубки и обрезки с учетом последующей гибки на основе наружного контура детали;

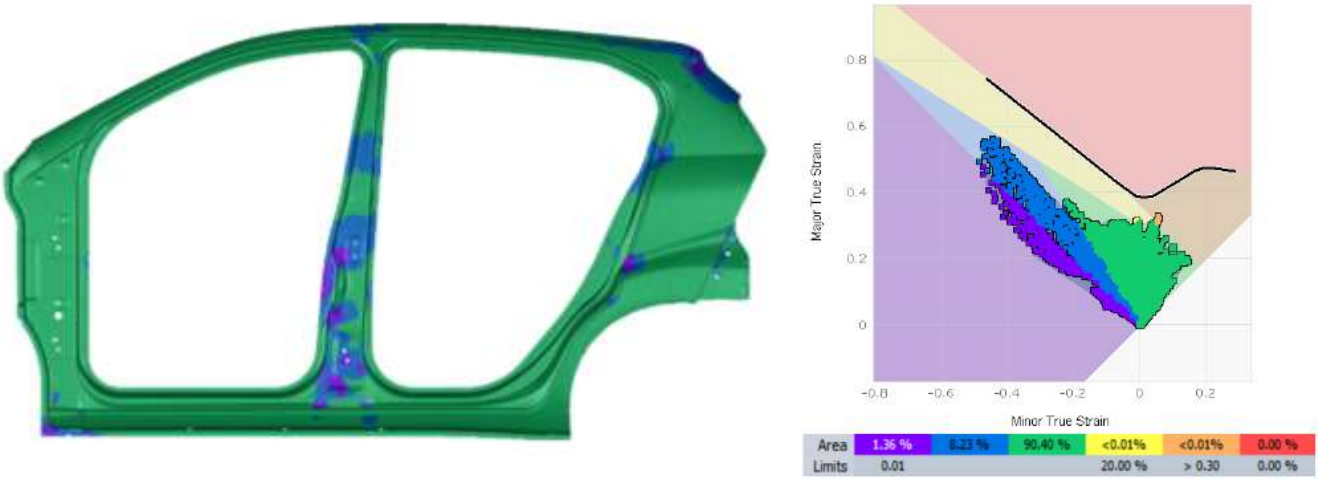


Рисунок 3. Поковка – результат разработки технологического процесса

а) Общий вид б) Диаграмма предельных деформаций

Предложен подход к разработке и улучшению технологического процесса сложных кузовных деталей с помощью программы AutoForm. Определены силовые характеристики всех переходов штамповки и основные конструктивные особенности оснастки, необходимые для получения детали.

Литература.

1. *Зуев 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 3.1 Workshop Manual. – М.: Autoform Engeneering GmbH, 2002. – 564 с.
4. *Ярыш А.В.* Проектирование штамповой оснастки на ОПП «АвтоВАЗ». – М.: САПР и Графика №2, 2012.

Секция VII

Технологии сварки и диагностики

Председатель:	**Коновалов Алексей Викторович** доктор технических наук, профессор, зам. заведующий кафедрой МТ-7
Ученый секретарь:	**Прилуцкий Максим Викторович** кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-7

УДК 620.179.1

Расчет параметров феррозондового датчика для проведения неразрушающего контроля кожухотрубчатых теплообменников.

Дмитрий Владимирович Буневский

Студент 6курса
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»

Эффективность работы службы неразрушающего контроля при диагностировании труб кожухотрубчатых теплообменников определяется ее оперативностью, высокими темпами контроля качества и достоверностью результатов контроля [1].
Это осуществимо только путем совершенствования техники и технологии существующего неразрушающего контроля, в частности создания новых высокопроизводительных систем, применения машинной (ЭВМ) расшифровки результатов, оптимизации объемов неразрушающего контроля.
В работе были рассмотрены следующие факторы, которые могут влиять на качество феррозондового контроля при диагностировании труб кожухотрубчатых теплообменников [2]:
Зависимость сигнала феррозондового датчика от величины намагниченности
Зависимость сигнала феррозондового датчика от силы тока
Зависимость сигнала феррозондового датчика от количества витков намотки
Данные, полученные в ходе проведения работы, позволяют снизить экономические затраты, используемые на производстве или в лабораторных условиях.

Литература

1. *Горкунов Э.С., Федотов В.Ф., Бухвалов А.Б. и др.* – Дефектоскопия, 1997, N4. – с. 87-96.
2. *Попов Б.Е., Мужицкий В.Ф., Безлюдько Г.Я., Левин Е.А., Белослюдов А.Б.* Контроль. Диагностика. – 1998, N 3 – с.40-44.

УДК 620.179.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЮМИНИСЦЕНТНОГО МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ТОРЦЕВ ТРУБ

Андрей Анатольевич Белоус

Студент 6курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Андрей Леонидович Ремизов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В работе рассмотрена технология неразрушающего контроля торцев труб. Проведен анализ причин возникновения дефектов в торцах труб, а также анализ существующей технологии магнитопорошкового контроля и альтернативного ему метода. Определены параметры автоматизированного люминесцентного МК. В целях повышения выявляемости дефектов и снижения стоимости контроля внесены предложения по выбору марки стали из ряда возможных.

В результате проделанной работы:
Были исследованы и рассчитаны дефектоскопические параметры магнитного контроля МТ;
Разработана методика определения эффективности применения МПК;
Были выделены 3 группы сталей, используемых при производстве труб, с максимальной экономической эффективностью в 13% у I группы;
Обоснован дальнейший анализ применяемых сталей в трубопрокатном производстве.

Литература

1. *Шелихов Г.С.* Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов / Под ред. Лозовского В.Н. М.: Научно-технический центр «Эксперт», 1995. 220с.
2. *Шелихов Г.С., Глазков Ю.А.* Магнитопорошковый контроль. М.: Издадетельский дом «СПЕКТР», 2011. 183 с.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Артур Азатович Галиев

Студент 6 курса,
кафедра«Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.В.Малолетков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Изменения геометрии стыка или траектории шва в процессе сварки могут привести к последствиям в виде дефектов сварного шва (непровар, прожог и др.). Одним из классических способов решения данной проблемы является идеальная сборка конструкции под сварку, жёсткое её закрепление в прижимных приспособлениях (центраторах) и трудоёмкая настройка траектории перемещения робота. Этот подход характеризуется высокой стоимостью вспомогательного сборочного оборудования, а также значительными временными затратами на сборку и подготовку кромок, что практически нивелирует повышение производительности в результате автоматизации и роботизации.
Увеличить производительность сборки и сварки трубопроводов можно, уменьшая требования по точности к стыку и расширяя возможности автомата компенсировать неточности сборки. То есть, система управления процессом сварки должна получать информацию о геометрии стыка и соответствующим образом изменять режимы сварки.
В процессе сварки необходимо специальное устройство, датчик, позволяющий следить за стыком в темпе с процессом, это возможно при использовании сканирующих датчиков, таких, как дуговой, оптический и электромагнитный датчики.
Результатом реализации функции технологической адаптации является командный файл скорректированных параметров, подлежащий загрузке в программу управления сварочным оборудованием. Исходя из предположения о линейной зависимости технологических параметров процесса от геометрических параметров разделки реализуется алгоритм технологической адаптации и вычисляется аддитивная поправка, которая корректирует режим, выбранный на основе технологических карт.

Литература
1. Автоматизация сварочных процессов: учебник / Э. А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421, [3] с. : ил.
2. *Гладков Э.А., Малолетков А.В.*Управление технологическими параметрами сварочного оборудования для дуговой сварки: Учеб.пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. – 148 с.: ил.
3. Электронный научно-технический журнал «Наука и образование»,
статья «Применение лазерной системы слежения для управления процессом автоматической MIG/MAG сварки».
4.Шварц М. В., Малолетков А. В., Перковский Р. А.

УДК 621.791

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АРГОНОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ БАББИТОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ

Алексей Васильевич Гонца

Студент 6 курса
кафедра «Технология сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Н. В. Коберник, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологий сварки и диагностики»

Качество поверхности оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей. Известно, что 80-85 % машин выходит из эксплуатации в результате изнашивания деталей, и только 15 20 % - по другим причинам. Поэтому проблема уменьшения износа рабочих поверхностей в узлах трения для повышения их надежности и эксплуатационного ресурса имеет особое значение.

Решение проблемы, связанной с увеличением сроков службы машин, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения.

Целью работы является улучшение эксплуатационных свойств антифрикционных покрытий на основе баббита, применяемого в подшипниках скольжения моторно-осевой группы.

Моторно-осевой подшипник предназначен для восприятия и передачи веса тягового двигателя на ось колесной пары. Он обеспечивает минимально возможное трение в месте сопряжения оси колесной пары и остова тягового двигателя. Подшипник работает в крайне тяжелых условиях. На буксы подшипника постоянно действует нагрузка в десятки тонн, незначительные перебои в смазке могут привести к перегреву и задирам поверхности скольжения, динамические нагрузки от прохождения стыков вызывают повышенный износ поверхности трения и посадочных мест.

Оловянные баббиты [3] имеют лучший набор антифрикционные свойства[2]. К недостаткам оловянных баббитов являются их низкая износостойкость и усталостная прочность из-за остроугольный формы грубого SnSb интерметаллидов, вершины и ребра которых служат концентраторами напряжений, а также их структурные неоднородности, что связано с процессами сегрегации, которая происходят во время затвердевания и охлаждения. Другой недостаток оловянных баббитов – неоднородность структуры, особо проявляющаяся при центробежном способе литья и связанная в первую очередь с ликвацией по удельному весу.

Калашников И. Е. в диссертации [1] сообщает о создание новых дисперсно наполненных композиционных материалов на базе сплавов алюминия с повышенными триботехническими характеристиками за счет выбора составов и совершенствования методов изготовления КМ,

обеспечивающих упрочнение за счет новых термодинамически стабильных армирующих фаз, сохранения в матрице вводимых извне тугоплавких армирующих наполнителей, в том числе наноразмерных, модифицирования матрицы наноразмерными тугоплавкими добавками. На основе сделанных выводов в диссертации было решено исследовать влияние армирования наплавленных покрытий на базе сплава баббита марки Б83 на эксплуатационные свойства. Введение керамических частиц в матрицу сплав может увеличить несущую способность и износостойкость, а также снизить коэффициент трения.

Для армирования в состав прутков вводили 5 мас.% частиц карбида кремния (SiC) средним размером 40 мкм. Количество наполнителя выбирали по результатам ранее проведенных исследований, показавших нарушения сплошности образцов при большем количестве армирующих частиц. Кроме армированных керамическими частицами были опробованы прутки, содержащие в количестве 0,25 мас.% субмикронные частицы бора (B), либо карбида бора (B_4C) размером не более 0,5 и 1 мкм соответственно.

Дуговую наплавку производили на постоянном токе неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона на режиме: сварочный ток - I=50 А, напряжение на дуге - $U_д$=(16-18) В, скорость наплавки - $V_н$=7,2 м/ч, расход защитного газа (аргона) - (12-14) л/мин.Преимущества аргонодуговой наплавки в измельчении составляющих структуры сплава связанным с сконцентрированным нагревом.

Подготовлены и исследованы образцы Б83 + 0,25 мас.% B, Б83 + 0,25 мас.% B_4C, Б83 + 5 мас.% SiC. Проведены испытания на терние и сравнения структуры образцов. Структуру наплавленных слоев и поверхностей трения исследовали на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 SB.Трибологические испытания полученных покрытий из КМ проводили в условиях сухого трения скольжения на установке CETRUMTMulti-SpecimenTestSystem по схеме: неподвижная втулка (контртело) против вращающейся шайбы при удельных нагрузках от 0,2 до 0,7 МПа и скорости скольжения 0,39 м/с. Испытания каждого образца проводили при последовательном ступенчатом осевом нагружении до значений 18, 28, 39, 50, 60 Н. Время испытаний при каждой осевой нагрузке составляло 10 мин. Коэффициент трения рассчитывался путем автоматического программного обсчёта. Потерю массы образцов фиксировали после полного цикла испытания путем их взвешивания на аналитических весах.

Лучшие результаты испытаний на трение из испытываемых образцов имеет наплавка с армированием наноразмерными, тугоплавкими частицами бора (Б83 + 0,25 мас.% B), позволяющих сформировать на рабочих поверхностях трибосопряжений слои, обеспечивающие режим безызносного трения, что позволяет повысить ресурс работы сплава в условиях сухого трения скольжения.

Литература.

Калашников, Игорь Евгеньевич. Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов: диссертация ... доктора технических наук : 05.16.06 / Калашников Игорь Евгеньевич; Москва, 2011 308 с.

Потехин Б. А., Глущенко А. Н., Илюшин В. В. Свойства баббита марки Б83 // Технология металлов. 2006.№ 3. С.17–22.

ГОСТ 1320-74 Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия.

УДК 620.179.1

МЕТОД АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО (АЭ) КОНТРОЛЯ

Денис Александрович Дырман

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»

Акустическая эмиссия (АЭ) возникает в результате динамической перестройки структуры материала и представляет собой поток импульсов упругой энергии, имеющий характер ультразвуковых волн, испускаемых источником той или иной природы и регистрируемый на поверхности изделия преобразователем.

Метод АЭ контроля применяют на таких опасных производственных объектах, как сосуды давления, резервуары для хранения нефтепродуктов, технологические трубопроводы, грузоподъемные механизмы, мостовые конструкции, подземные хранилища газов, изотермические резервуары, трубопроводы теплосетей и др.

Основные недостатки метода АЭ:

сложность выделения полезного сигнала из потока регистрируемых данных;

отсутствие эталонов источников АЭ сигналов различной природы, а следовательно и четких критериев оценки полученной АЭ информации;

все критерии классификации источников сигналов носят рекомендательный характер;

низкая точность локации источника АЭ вследствие дисперсии нормальных волн;

идентификация дефекта возможна только после обследования зоны, где выявлен источник АЭ, другими методами НК.

Основные преимущества метода АЭ:

не требуется тщательно подготовки поверхности объекта контроля;

интегральность метода, которая заключается в том, что, используя один или несколько датчиков, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект целиком (100% контроль);

обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам (или по другим косвенным признакам – форме, положению, ориентации дефектов), а по степени их опасности (влияние на прочность) для контролируемого объекта;

высокая производительность;

дистанционность *метода* – возможность проведения контроля при значительном удалении оператора от исследуемого объекта;

возможность отслеживания различных технологических процессов и оценка технического состояния объекта *в режиме реального времени*, что позволяет предотвратить аварийное разрушение контролируемого объекта.

В настоящий момент метод АЭ развивается, совершенствуется программное обеспечение, совершенствуется аппаратный комплекс.

Литература

Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф., Быстрова Н.А, Галкин Д.И.. Диагностика технических средств. – М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2014. – 615 с.

Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ В.В.Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В.Ковалев и др.; Под ред. В.В.Клюева . – 3-е изд. Испр. И доп.-М.: Машиностроение, 2003, - 656 с., ил

ПРОБЛЕМЫ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СТАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Леонид Вениаминович Ермачков

Студент 6 курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Михеев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

При выполнении износостойкой наплавки важно обеспечить адгезионную прочность полученного соединения. В связи с тем, что рассматриваемый композиционный материал имеет алюминиевую матрицу и изготавливается только в виде присадочных прутков, ввиду ограниченной пластичности, наиболее подходящим способом наплавки является наплавка неплавящимся электродом в среде аргона.[1]

Основными факторами, влияющими на адгезионную прочность рассматриваемого соединения, являются:
появление и рост промежуточного интерметаллидного слоя;
появление дефектов соединения.
Причиной появления дефектов соединения служит ряд причин таких как:
некачественная подготовка наплавляемой поверхности;
несоответствующий режим наплавки;
низкое качество присадочного материала;
нештатная работа оборудования.
Однако появление дефектов соединения не является основным фактором, влияющим на адгезионную прочность, так как этот фактор возможно контролировать, поддерживая общую культуру производства.
Появление и рост промежуточного интерметаллидного слоя приводит к охрупчиванию полученного соединения, и, следовательно, снижению адгезионной прочности.
Причиной появления такого промежуточного слоя служат:
различие теплофизических свойств соединяемых материалов;
наличие оксидной пленки на поверхности присадочного материала;
химическое взаимодействие соединяемых материалов.
Известно, что при увеличении температуры, происходит рост толщины интерметаллидного слоя, так как увеличивается подвижность атомов материалов в диффузионных слоях. Также известно, что даже длительное время выдержки при температурах до 773К не вызывает роста интерметаллидного слоя значительно выше 10 мкм, в то время как при увеличении температуры выше 773К происходит резкое увеличение скорости роста интерметаллидного слоя.[2]
С целью снижения влияния этого фактора на качество полученного соединения, необходимо ограничить время пребывания соединения при температуре выше 773К. Достичь этого возможно ограничением тепловложения применением более мягких режимов наплавки или применением охлаждающей оснастки.

Литература

Ермачков Л. В. Применение композиционных материалов на основе алюминия для подшипников скольжения на примере подшипников для энергетического оборудования. // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна:

Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 5 – 8 апреля, 2016, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.
Ковалев В.В., Михеев Р.С., Коберник Н.В. Особенности получения сталеалюминиевых соединений методами сварки плавлением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2016. №4 (109)..

УДК 53.087.22

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Александр Владимирович Журавлев

Студент2 курса
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 одним из перспективных направлений науки является создание новых материалов, которые отвечали бы более высокому уровню эксплуатационных свойств. Типичным примером таких искусственно созданных материалов являются композиционные материалы (КМ), в которых используют преимущества каждого из входящих в его состав компонента и проявляются новые свойства, обусловленные граничными процессами. Средитаким КМ наибольший интерес привлекли к себеалюмоматричные КМ, армированным керамическими частицами карбида кремния, карбида титана, оксида алюминия и др. Одной из возможных областей их применения является трибология, так как такие материалы обладают высокой износостойкостью в сочетании с низкими коэффициентами трения[1].Одним из параметров, определяющих свойства КМ и стабильность их работы в узлах трения, является равномерность распределения частиц по объему. Поэтому представляет интерес рассмотреть особенности этого распределения в зависимости от массовой доли армирования и размера частиц.

В работе проведена оценка распределения частиц в покрытии, полученном дуговой наплавкой композиционного материала. Равномерность распределения оценивалась разбиением микрошлифа на сегменты и определение относительной площади, занимаемой частицами в каждом сегменте. За критерий равномерности был выбран коэффициент вариации, определяемый по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{x_{\text{ср}}} \qquad (1)$$

где $x_{\text{ср}}$ – среднее значение относительной площади, занимаемом наполнителем в рассматриваемом образце по результатам анализа %;σ – среднее квадратичное отклонения содержания частиц, рассчитанное по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{\text{ср}})^2}{n}} \qquad (2)$$

где n – *количество полос разбиения, шт;* x_i – *значение содержания SiC в i-ой полосе разбиения, %.*

Для оценки относительной площади, занимаемой частицами, был применен метод компьютерной оценки изображения, что позволяет сократить время проведения анализа. В результате проведенной работы установлено, чтоувеличение массовой доли частиц в сплаве и их размера приводит к более равномерному их распределению.

Литература

1. *Михеев Р.С., Коберник Н.В., Ковалев В.В.* Получение износостойких поверхностных структур на основе композиционных материалов // Физика и химия обработки материалов. 2014, №4. С. 18-25

УДК 621.79.01

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОДКЛАДНЫХ ЛЕНТ ГАЗОПРОВОДОВ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ СЕТЕЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Вячеслав Юрьевич Катков

Студент 6курса,
кафедра «Технология сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Баумана

Научный руководитель: Р.С.Михеев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварки и диагностики»

Газопроводы среднего давления с рабочим давлением 0.05 МПа – 0.3 МПа служат для подвода газа к городским распределительным сетям низкого и среднего давления через газораспределительные пункты (ГРП), а также для подачи газа через ГРП и газорегуляторные установки (ГРУ) к промышленным и социальным объектам. При изготовлении газопровода в случае получения некачественного соединения изделие подлежит ремонту, что ведет за собой серьезные финансовые потери и оставляет сотни объектов без тепло- и газоснабжения.

Наиболее важную роль при сварке газопровода играет сварка корневого слоя шва. Поскольку сварка ведется в монтажных условиях, это накладывает соответствующие ограничения. В процессе анализа существующей технологии изготовления сварного стыка подземного газопровода среднего давления были отмечены следующие недостатки этой технологии:

а) Отсутствие защиты обратной стороны корневого слоя шва от попадания различных примесей;

б) Отсутствие контроля над формированием корневого слоя шва;

в) При несоблюдении технологии подготовки кромок и сборки стыков труб велика вероятность непроваров, прожогов и подрезов;

г) Требуется высокая квалификация сварщиков.

Поэтому для повышения стабильности качества сварного соединения предложено применять формирующие устройства в виде подкладных лент. Самоклеящаяся подкладная лентас полосой из стекловолокна и фольгоплена с клеящимся покрытием предназначена для формирования и защиты обратного валика корневого шва. Лента является опорой для сварочной ванны, предотвращает ее загрязнение и обеспечивает защиту от воздуха с внутренней стороны. Плетеное термоустойчивое стекловолокно предотвращает чрезмерный провар и формирует во время сварки постоянную и равномерную высоту выпуклости корня шва с плавным переходом к основному металлу.

По результатам научно-исследовательской работы было установлено, что применение подкладных лент позволит снизить требования к точности сборки зазоров между свариваемыми деталями, что приведет к снижению требований к квалификации сварщика и значительно сокращает время сборки стыка.

Литература

1. *Доронин Ю.В., Ханапетов М.В.* Односторонняя сварка в строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 150 с.

2. *РД 01-001-06* Сварка стальных газопроводов и газового оборудования в городском коммунальном хозяйстве и энергетических установках.

ЗЕРКАЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ НАКЛОННЫХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Евгений Юрьевич Колпаков

Студент 6 курс
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»

Различают диаграммы направленности наклонных пьезопреобразователей в основной и дополнительной плоскостях. Основной является плоскость нормальная к поверхности сканирования и проходящая через акустическую ось, а дополнительная плоскость перпендикулярна основной и также включает акустическую ось. Диаграммы направленности пьезоэлектрических преобразователейв дополнительной плоскости при отражении от угла, образованного ненаправленным отражателем в виде вертикального цилиндрического отверстия и донной поверхностью плоскопараллельного образца, проведено в [1]. При этом, как отмечалось в [1, 2] сложности возникают при измерениях для пьезопреобразователей с углами ввода больше 57°, что связано с резким уменьшением коэффициента отражения от прямого угла. Так в [1] для пьезопреобразователя с углом ввода 58° измерения удалось провести в диапазоне азимутальных углов ±4° от направления акустической оси.
В работе экспериментально исследована возможность построения диаграмм направленности наклонных пьезопреобразователей в дополнительной плоскости зеркальным способом при отражении сигнала от донной поверхности плоскопараллельного образца. Измерения проводились на стальной плите толщиной 48 мм при перемещении приемника по специально изготовленным транспортирам, радиус которых рассчитывался исходя из толщины плиты и угла ввода пьезопреобразователей. Измерения проведены для пьезопреобразователей с углами ввода от 34° до 58°. Показано, что измерения для пьезопреобразователя с углом ввода 58° можно эффективно проводить в диапазоне азимутальных углов ±15° от направления акустической оси.

Литература

Коновалов Н.Н., Рафиков Р.Х., Преображенский М.Н. Диаграммы направленности наклонных пьезопреобразователей в дополнительной плоскости // Контроль. Диагностика. №5, 2016. С.26-30
Технология ультразвукового контроля сварных соединений / Щербинский В.Г. Санкт-Петербург: СВЕН, 2014. 495 с.

УДК 620.179.1

ПРИМЕНЕНИЕ КАТЯЩИХСЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Леванов Михаил Викторович

Студент 6курса
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»

В настоящее время особенно остро встала проблема диагностики газопроводов, в связи со старением трубопроводов и исчерпанием назначенного при проектировании ресурса. Известно, что наибольшей чувствительностью и разрешающей способностью по отношению к различным родам дефектов обладает акустический метод неразрушающего контроля. При этом современные технологии акустического контроля качества базируются, как правило, на использовании магнитных внутритрубных снарядах-дефектоскопах, контролирующих только внутреннюю поверхность трубопровода.

Цель работы заключалась в определении возможности применения катящихсяультразвуковых преобразователей в технологиях контроля состояния металла газопровода при проведении их внутритрубной диагностики, разработке основных методических положений новой высокоинформативной технологии акустического неразрушающего контроля и принципов построения акустических систем, реализующих ее.

В результате проделанной работы:

Проведен анализ возможности применения катящихся преобразователей;

Разработана модель обнаружения дефектов;

Определены возможные применяемые частоты и выбрана оптимальная среди них;

Определены возможные применяемые пьезопластины и выбрана оптимальная среди них.

Литература

1. *Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И.* Неразрушающий контроль. Акустические методы контроля / Под ред. Сухорукова В.В. М.: Высшая школа, 1991. 283 с.

2. *Варламов Д.П., Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф.* Мониторинг дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 120 с.

3. *Варламов Д.П., Матвиенко А.Ф.* Мониторинг стресс-коррозионной дефектности протяженной многониточной системы магистральных газопроводов по результатам многократной внутритрубной дефектоскопии // Дефектоскопия. 2010. №12. С.32.

4. *Варламов Д.П., Стеклов О.И.* Многократная внутритрубная дефектоскопия системы магистральных газопроводов двух климатических регионов России // Технологии машиностроения. 2012. №3. С.30.

УДК 621.791

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО КЛИМАТА

Зульфия Хусаиновна Муртазина

Студенткабкурса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Коновалов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Из сварочной практики известно, что одним из факторов образования холодных трещин в сварных соединениях сталей является диффузионно-подвижный водород, попадающий в металл шва при дуговой сварке в основном из атмосферы дуги и сварочных материалов [1-3].

Для сравнительной оценки содержания диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле использовался метод карандашной спиртовой пробы [4]. Сварка карандашных проб проходила в двух вариантах, отражающих крайние состояния сварочных материалов:

1. В состоянии поставки, т.е. сразу после вскрытия герметичной упаковки, что соответствует минимальному содержанию водорода в наплавленном металле;
2. После выдержки катушек с проволокой в атмосфере влажного воздуха в течение заданного промежутка времени (8 часов), что соответствует максимальному содержанию водорода в наплавленном металле.

Выбор метода карандашной спиртовой пробы [4] обусловлен тем, что стандартные методы определения диффузионно-подвижного водорода [5] подразумевают использование либо дорогого и сложного лабораторного оборудования (газовый хроматограф), требующего регулярных калибровок [6], либо значительного времени ожидания результата (вакуумный метод). Для проведения сравнительного анализа, где высокая точность измерений не столь важна, вполне подходит более грубый, но оперативный и значительно менее затратный метод карандашной спиртовой пробы [4].

Наиболее простая «карандашная» проба заключается в наплавке в медную охлаждаемую водой изложницу образца размером 8х12х50 мм, немедленной закалке в воду и помещении его в специальную пробирку (эвдиометр) со спиртом.

Весь выделившийся в эвдиометре $H_д$ принимают за $H_{ш.о}$. Полное время выделения $H_д$ составляет 5 суток, однако практика исследований показывает, что наиболее интенсивное выделение водорода происходит в первые сутки, а за 48 часов выделяется более 94 % общего объема водорода. Следует отметить, что значения $H_{ш.о}$, полученные хроматографическим методом [5], примерно в 2 раза превышают значения, полученные карандашной спиртовой пробой.

По полученным результатом можно судить о содержание водорода в наплавленном металле, а следовательно и о возможности применения конкретных сварочных материалах в условиях влажного климата.

Литература

1. *Макаров Э.Л.* Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.
2. Сварка и свариваемые материалы: Справочник, В 3 т./ Под общ. ред. В.Н.Волченко. М.: Металлургия, 1991. Т1:Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л.Макарова. 528 с.
3. Теория свариваемости сталей и сплавов / Под ред.Э.Л.Макарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. 487 с..

4. СТО 02494680-0056-2007. Слоистое разрушение сварных соединений строительных сварных конструкций. Требования при проектировании, изготовлении и монтаже. М.: ЦНИИПСК им. Н.П.Мельникова, 2007. 35 с. Приложение Г (справочное): Определение начального содержания диффузионного водорода в металле шва методом «карандашной» спиртовой (глицериновой) пробы (краткое описание). С. 32-33.
5. ГОСТ 23338-91. Сварка металлов. Методы определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле и металле шва. М.: Изд-во стандартов, 1991. 20 с.
6. *Панченко О.В*. К вопросу о методах определения диффузионного водорода // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 9. С. 57-61.

ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПЕРВОГО РОДА НА АМПЛИТУДУ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ СТАНДАРТНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Василий Дмитриевич Соколов

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 настоящее время активно идет освоение территории за полярным кругом, где температура падает до -70 град С, поэтому становится актуальным неразрушающий контроль конструкций, строящихся и эксплуатирующихся в условиях низких температур.
В данной работе проведен анализ влияния низких температур (до минус 70 град. С) на чувствительность ультразвукового контроля . Проведены расчеты влияния низких температур на скорости продольной и поперечной волн, углов ввода волны, критических углов, коэффициентов прозрачности границ (плексиглас - сталь) как составляющих уравнения акустического тракта а также решена задача моделирования влияния изменения Е на амплитуды принимаемых сигналов, отраженных от стандартных отражателей.
Теоретическая основа.
Известно, что изменение температуры влечет за собой изменение модуля упругости (модуля Юнга), а значит изменение скоростей распространения ультразвуковых волн (1) - (2).

$$C_\ell = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

$$C_t = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho}\frac{}{(1+\nu)}} \quad (2)$$

где Е – модуль Юнга, ρ – плотность материала.
Изменение скоростей волн, согласно закону Снеллиуса (рис. 1) и (3), приводит к изменению углов ввода волны в объект контроля.

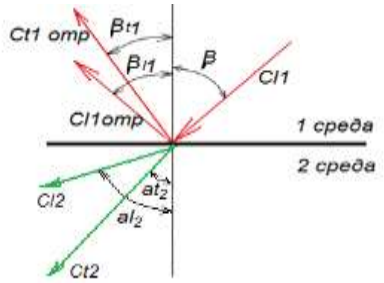


Рис. 1. Отражение, преломление и трансформация УЗ волн на границе двух сред

$$\frac{C_{l1}}{\sin(\beta)} = \frac{C_{t2}}{\sin(\alpha_{t2})} = \frac{C_{l2}}{\sin(\alpha_{l2})} = \frac{C_{l1omp}}{\sin(\beta_{l1})} = \frac{C_{t1omp}}{\sin(\beta_{t1})} \quad (3)$$

В результате изменения параметров (1) – (3) влияет на амплитуду принимаемого сигнала от сферического отражателя (рис.2),от бокового сверления(рис.3), от«зарубки»(рис.4).

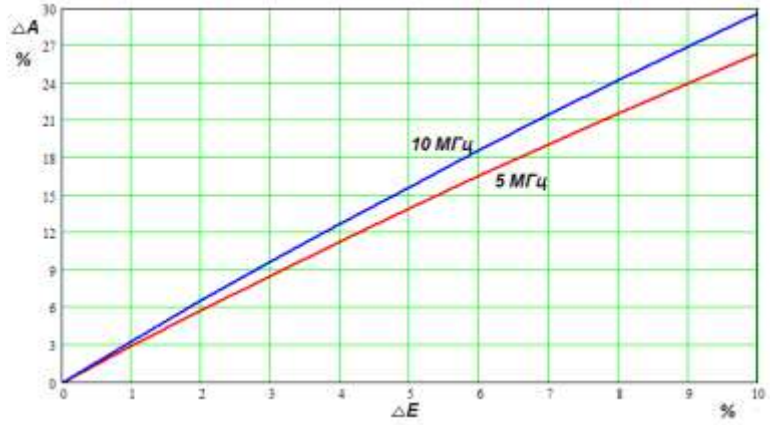


Рис.2. Влияние изменения модуля упругости ΔE на амплитуду принимаемого сигнала от сферического отражателя

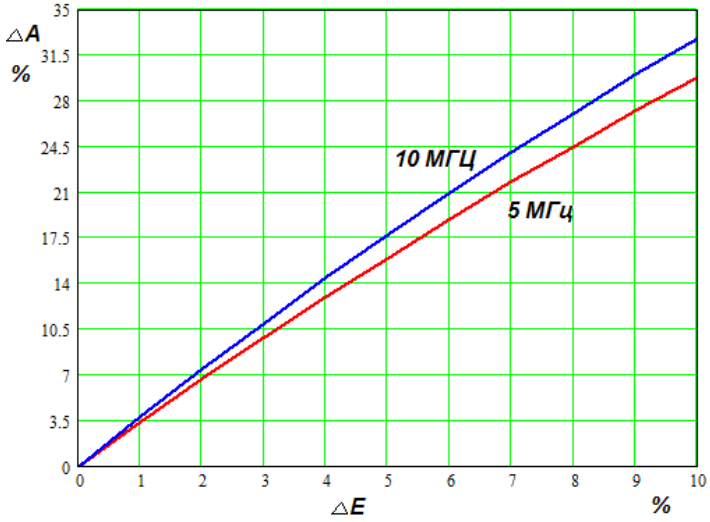


Рис.3. Влияние изменения модуля упругости ΔE на амплитуду принимаемого сигнала от бокового сверления

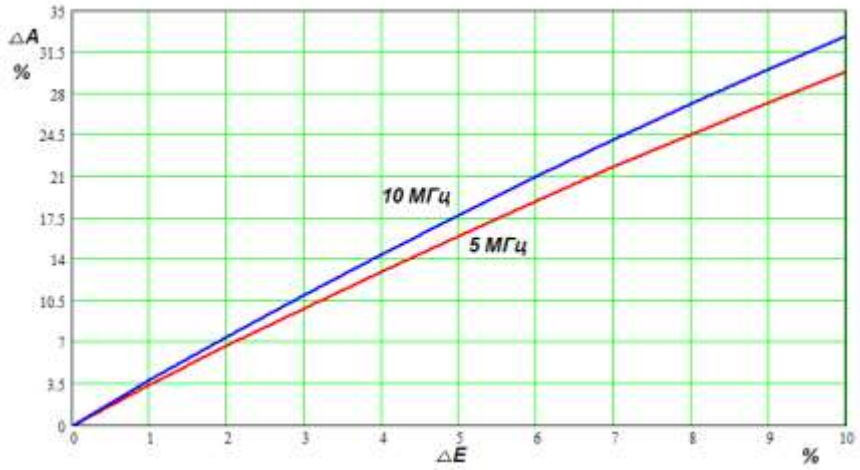


Рис.4. Влияние изменения модуля упругости ΔE на амплитуду принимаемого сигнала от «зарубки».

Проведенный расчет влияния изменения модуля упругости ΔE на амплитуду принимаемого сигнала от сферического отражателя показал, что при изменении модуля упругости на 10 % приводит к уменьшению амплитуды сигнала на 27% при боковом сверление и «зарубки» 30%. Это необходимо учитывать при разработке методик проведения контроля сварных соединений в условиях низких температур.

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

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ МОСТОВЫХ СТАЛЕЙ К ОБРАЗОВАНИЮ ХТ ПРИ СВАРКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ.

Сергей Олегович Федонин

Студент 6 курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Коновалов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Цель работы - выяснение возможности применения порошковой проволоки для сварки в условиях повышенной влажности.

Для оценки стойкости мостовых сталей к образованию ХТ были подготовлены 4 жесткие технологические пробы тип VIIIГОСТ 26388-84из стали 10ХСНД толщиной 20 мм и 4 жесткие технологические пробы тип VIIIГОСТ 26388-84из стали 10ХСНД толщиной 32 мм[4]. Для сварки в среде защитных газов применялись две марки порошковой проволоки FILARCPZ6138 и POWERBRIDGE 60M с диаметром 1,2 мм. Режимы сварки корневого шва: сила тока

200…220А, напряжение 20 В, предварительный подогрев плюс 100°С. Режимы сварки заполняющих швов: сила тока 240…260А, напряжение 24 В.
Две пробы толщиной 20 мм сваривались однопроходным швом разными проволоками сразу после вскрытия герметичной упаковки и две пробы сваривались однопроходным швом проволоками, выдержанными в течение 8 часов в камере при температуре 23±1°С и относительной влажности 95%.
Разделка проб толщиной 32 мм заполнялась многопроходным швом с соблюдением межпроходной температуры не ниже плюс 100°С.
После сварки пробы не треснули за 48 часов, а последующее испытание на излом не выявило наличия ХТ.
Так же определялось количество исходного диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле методом карандашной спиртовой пробы. Исследование выявило низкое содержание исходного диффузионно-подвижного водорода как в проволоке до выдержки в камере с повышенной влажностью, так и после.

Литература
Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.
Сварка и свариваемые материалы: Справочник, В 3 т./ Под общ. ред. В.Н.Волченко. М.: Металлургия, 1991. Т1:Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л.Макарова. 528 с.
Теория свариваемости сталей и сплавов / Под ред.Э.Л.Макарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. 487 с.
ГОСТ 26388-84. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением. М.: Изд-во стандартов, 1985. 22 с.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОНСТРУКЦИЙ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Василий Дмитриевич Соколов

Студент 4курса
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 практической дефектоскопии особую сложность для ультразвукового контроля представляют объекты, поверхность которых имеет постоянно изменяющийся радиус кривизны. Это влияет на качество акустического контакта.
Целью работы является оценка возможности применения легкоплавких сплавов с температурой плавления до 100 град. С (сплавы Розе и Вуда) в качестве промежуточного наполнителя между ультразвуковым преобразователем и объектом контроля.
Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:
- проанализированы акустические характеристики сплавов Розе и Вуда;
- проведен расчет уравнения акустического тракта;
- проведена экспериментальная проверка расчетов.

Анализ характеристик сплавов показал, что наиболее подходящим является сплав Розе:
- затухание продольной волны ниже, чем в сплаве Вуда;
- скорость продольной волны больше, чем в сплаве Вуда.

Расчеты уравнения акустического тракта показали, что теоретически возможно обнаружить несплошности в виде плоскодонных отражателей следующих размеров: на частоте 5.0 МГц – d=0.15 мм, на частоте 10 МГц – d= 1.1 мм для легированных сталей.
Для проверки результатов расчетов были проведены экспериментальные исследования.
В результате экспериментальной работы плоскодонный отражатель d=1 мм обнаружен не был, хотя теоретические расчеты показали, что для сталей возможно обнаружение плоскодонного отражателя d=0.15 мм.
Анализ экспериментальных данных показал, что на обнаружение несплошностей будет влиять отражение от границ, то есть отраженный от границ сигнал близок по времени к сигналу от отражателя, поэтому сигналы «сливаются» становятся неразличимы
Вышеуказанный фактор снижает чувствительность предлагаемой схемы до значения d=1.4 мм, что не приемлемо для контроля.
Вывод: площадь минимально дефекта, который можно выявить, соответствует площади дискового отражателя, радиусом 1.4 мм, оптимальная рабочая частота 5.0 МГц, что не приемлемо для контроля.

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

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БАББИТОВОЙ НАПЛАВКИ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ.

Андрей Олегович Чернышов

Студент 5курса
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 со стороны основного металла 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. Глущенко, 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 слоя подшипникового материала и основы. Москва: Издательство стандартов, 1994. - 11 с.

УДК 621.791

ОПТИМИЗАЦИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ МОСТОВОГО КРАНА

Чжо Янян

Студент 6 курса, магистр 2 года,
*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»

Сварная ферма является основным элементом мостового крана, она обеспечивает его прочность и жесткость. От массы металлоконструкции зависит не только себестоимость ее изготовления, но и расход электроэнергии при эксплуатации крана. Основными факторами, влияющими на массу, являются выбор размеров и типов поперечных сечений входящих в нее стержней, а также конструктивное оформление и технология сварки соединяющих их узлов. Часть размеров фермы, таких, как ее пролет, жестко заданы, но некоторые из них могут быть выбраны из условия минимизации массы.[1]
В работе проанализировано влияние на массу фермы ее высоты и количества раскосов и стоек, а также типа сечений раскосов (уголки, швеллера, тонкостенные трубы) и поясов (уголки, швеллера, тавры и двутавры). Оптимизация выполнена с учетом существующей номенклатуры стандартных профилей проката для конкретных параметров крана (размеров, грузоподъемности и срока службы), она включала следующие этапы:
1. Анализ зависимости массы нижнего пояса фермы от ее высоты, технологии сварки и марки материала на основе расчета усталостной прочности.

2. Анализ зависимости массы раскоса от его длины, формы поперечного сечения, технологии сварки и марки материала на основе расчета усталостной прочности и устойчивости.
3. Анализ зависимости массы верхнего пояса фермы от ее высоты, числа пролетов, формы поперечного сечения верхнего пояса, технологии сварки и марки материала на основе расчета усталостной прочности и устойчивости.
4. Анализ зависимости суммарной массы всех раскосов и стоек фермы от ее высоты, числа раскосов и стоек, формы их поперечного сечения, технологии сварки и марки материала на основе расчета усталостной прочности и устойчивости.
5. Выбор на основе установленных зависимостей параметры конструкции и технологии сварки фермы, обеспечивающие минимизацию ее металлоемкости.
В результате расчетов установлено, что наиболее рациональным профилем для поясов фермы является нормальный тавр, а раскосов и стоек – тонкостенные трубы, приваренные к косынкам встык.
Разработанную схему анализа планируется внедрить в учебный процесс кафедры технологии сварки и диагностики при выполнении студентами курсового проекта.

Литература
1. *Николаев Г.А*. Сварные конструкции. – М.: Высшая школа.- 1962.- 378 с.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СВАРКИ В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ КОРНЕВОГО СЛОЯ ШВА С ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ СЛЕЖЕНИЯ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ

Иван Валерьевич Шварц

Студент 6курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Малолетков
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Одной из основных тенденций развития сварочного производства в настоящее время является использование автоматических комплексов при изготовлении большой номенклатуры изделий[1]. Их применение позволяет значительно снизить влияние человека на процесс сварки и тем самым повысить качество сварных соединений, а также повысить производительность процесса и эффективность производства в целом.
Целью исследования является обеспечение качественной автоматической сварки в защитном газе кольцевых стыков магистральных трубопроводов. Для достижения данной цели в полевых условиях, для которых характерны неточности сборки и подготовки кромок, то есть возмущения процесса, необходимо исследования возможности адаптации сварочного автомата к этим возмущениям.
Одним из способов решения проблемы изменения геометрии стыка является идеальная сборка стыка под сварку, жёсткое закрепление в приспособлениях - центраторах, трудоёмкая настройка траектории движения горелки и её корректировка в режиме реального времени. Этот подход характеризуется высокой стоимостью вспомогательного сборочного оборудования, а также значительными временными затратами на сборку и подготовку кромок, что практически нивелирует повышение производительности в результате автоматизации. Кроме того, сборка с точной выдержкой всех номинальных параметров не всегда может быть реализована в жестких полевых условиях.

Перспективным направлением для решения этой проблемы является проведение модернизации автоматического оборудования и технологии на основе применение оптической системы слежения триангуляционного типа с последующей разработкой алгоритмов управления процессом [2,3], направленных на компенсацию неточностей сборки стыков магистрального трубопровода .
В качестве адаптивного сварочного комплекса использовалась традиционная сварочная головка, дооснащённая оптической лазерной системой слежения, позволяющей получать параметры геометрии кромок в режиме реального времени, в темпе с процессом сварки[4].
По результатам поставленных экспериментов по измерению геометрии кромок стыка и анализа полученных данных, был предложен и апробирован алгоритм их обработки, позволяющий получить уточнённые значения зазора в корне шва, несмотря на характерные помехи.Проведены эксперименты по сварке корневого слоя шва кольцевого сварного соединения с корректировкой параметров режима сварки в зависимости от геометрии и пространственного положения, которые подтвердили принципиальную возможность качественной сварки корневого слоя шва с адаптивным управлением параметрами режима.

Литература

Гладков Э.И., Бродягин В.Н., Перковский Р.А. Автоматизация сварочных процессов. –М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2014. 421 с.
Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке.–М: Издательскийцентр “Академия,” 2006. 432 с.
Chen S.B., Wu J. Intelligentized Methodology for Arc Welding Dynamical Processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. Vol. 29. 276 p.
Шварц М.В., Малолетков А.В., Перковский Р.А. Применение лазерной системы слежения для управления процессом автоматической MIG/MAG сварки // Наука Образование. 2013. № 9. С. 1–12.

УДК 620.179.1

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ КАМЕРЫ СКОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Максим Андреевич Щербинин

Студент 6курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Г.А.Бигус,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время особенно остро встаёт проблема диагностики ракетных двигателей, в связи с высокими требованиями к их качеству. Известно, что наибольшей чувствительностью и разрешающей способностью по отношению к различного рода дефектам обладает акустический метод неразрушающего контроля. При этом современные технологии базируются на устаревшем оборудовании и на ручном труде. Цель работы заключается в определении возможности частичной автоматизации диагностики состояния металла и сварных швов.
Цель работы заключалась в определении возможности применения фазированных антенных решёток в технологиях контроля состояния металла и отдельных сварных при проведении их диагностики, разработке основных методических положений новой высокоинформативной технологии акустического неразрушающего контроля и принципов построения акустических систем, реализующих ее.

В результате проделанной работы:
Проведен анализ возможности применения фазированных антенных решёток;
Разработана модель обнаружения дефектов;
Определены возможные применяемые частоты и выбрана оптимальная среди них;
Определены возможные применяемые антенные решётки и выбрана оптимальная среди них.

Литература

1. *Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф. Быстрова Н.А., Галкин Д.И*. Диагностика технических устройств. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 615 с.
2. *Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И.* Неразрушающий контроль. Акустические методы контроля. /Под ред. Сухорукова В.В. М.: Высшая школа, 1991. 283 с..

УДК 620.179.1

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИКИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ТЕХНОЛОГИЯХ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИХ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Максим Иванович Юдин

Студент 6курса
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Григорьев Михаил Владимирович,
кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе ФГАУ «Научно – учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана», доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Диагностика технического состояния магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов (МН и НПП) является важнейшим направлением обеспечения надежности их функционирования, определения ресурса, сроков и объемов ремонта, реконструкции. Особенно остро проблема диагностики МН и НПП встала в настоящее время, в связи со старением трубопроводов и исчерпанием назначенного при проектировании ресурса.

Известно, что наибольшей чувствительностью и разрешающей способностью по отношению к различным родам дефектов обладает акустический метод неразрушающего контроля. При этом современные технологии акустического контроля качества базируются, как правило, на использовании многоканальных автоматизированных систем, реализующих «классический» эхо-метод с применением схем контроля, обеспечивающих одноракурсноепрозвучивание объема металла трубопровода.

Однако, как показывают последние достижения в области ультразвуковой дефектоскопии, перспективным для технологий акустического контроля является использование техники антенных решеток, в частности, фазированных антенных решеток, обеспечивающей многоракурсноепрозвучивание металла трубопровода. Применение этой техники позволяет анализировать не одномерные эхо-сигналы, а двумерные изображения в виде секторных сканов, что позволяет на качественно более высоком уровне решать задачи по выявлению дефектов в металле трубопровода и их идентификации с учетом потенциальной опасности.

Цель работы заключалась в определении возможности применения техники фазированных антенных решеток в технологиях контроля состояния металла МН и НПП при проведении их внутритрубной диагностики, разработке основных методических положений новой высокоинформативной технологии акустического неразрушающего контроля и принципов построения акустических систем, реализующих ее.

В результате проделанной работы:

Проведен анализ возможности применения техники фазированных антенных решеток;
Разработаны основные методические положения контроля;
Определены технические характеристики преобразователей, применяемых при диагностике состояния металла шва магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов;
Проведены экспериментальные исследования эффективности техники фазированных антенных решеток для выявления различных видов дефектов.

Литература

1. *Щербинский В.Г.*Технология ультразвукового контроля сварных соединений.– Изд. 3-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург:СВЕН, 2014. – 495с.
2. РД-25.160.00-КТН-037-14 «Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов». ОАО «АК «Транснефть».
3.Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ В.В.Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В.Ковалев и др.; Под ред. В.В.Клюева . – 3-е изд. Испр. И доп.-М.: Машиностроение, 2003, - 656 с., ил.
4. *Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев*. Ультразвуковая дефектоскопия: Справочное пособие/ Минск, «Вышейшая школа», 1987. – 241 с.
5. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые

Секция VIII

Материаловедение в машиностроении

Председатель: **Плохих Андрей Иванович**
доктор технических наук, доцент, зам. заведующий кафедрой МТ-8

Ученый секретарь: **Шевченко Светлана Юрьевна**
кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-8

УДК 620.181.412

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МАГНИТОТВЕРДОМ СПЛАВЕ 27Х15К2МТС

Мария Владимировна Александрова

Студентка 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.М.Миляев,
доктор технических наук, главный научный сотрудник ИМЕТ РАН

Магнитотвёрдые сплавы системы Fe-Cr-Co занимают особое место среди магнитотвёрдых сплавов в силу удачного сочетания своих магнитных гистерезисных (остаточная индукция B_r, коэрцитивная сила H_c, максимальное энергетическое произведение $(BH)_{макс.}$) и механических (прочностных и пластических) свойств. Производство магнитотвёрдых FeCrCo сплавов 22Х15К и 25Х15КЮБФ с 15 вес. % кобальта освоено металлургической промышленностью и выпускаются в виде сортового и листового проката. К недостаткам этих сплавов следует отнести их относительно низкий уровень коэрцитивной силы (40 – 47 кА/м по ГОСТ 24897-81), что не всегда позволяет удовлетворять требования ряда потребителей. Поэтому задача повышения H_c этих достаточно экономных сплавов является актуальной. Из патентной и научно-технической литературы известно, что в магнитотвёрдых FeCrCo сплавах с увеличением содержания Cr и при легировании Mo и W растёт H_c, хотя при этом снижаются B_r и $(BH)_{макс.}$ [1]. С целью изыскания магнитотвёрдых FeCrCo сплавов с более высокими значениями H_c при сохранении содержания остродефицитного кобальта на уровне 15 вес. % для исследования был взят сплав, содержащий (в вес. %): 27Cr, 15Co, 2,5Mo, 1Ti, 1Si, остальное Fe (по данным химического анализа сплав содержал: 27,3Cr, 15,3Co, 2,4Mo, 1,1Ti, 0,8Si, ост. Fe).
Исследуемый сплав выплавляли в открытой индукционной печи из шихтовых компонентов промышленной чистоты, разливали в корковые формы и получали образцы Ø20 × 80 мм, из которых затем на ротационно-ковочной машине получали прутки Ø12 мм. После их токарной обработки на образцах Ø 10 × 20 мм проводили изучение магнитных гистерезисных и механических свойств. Определение температурных интервалов для проведения термообработки на высококоэрцитивное состояние проведено путём дилатометрического исследования при нагреве до 1300 °С и охлаждении на дилатометре DIL 402 C7G фирмы NETZSCHGeraetbauGmbH (Германия). Скорость нагрева составляла 10 ^{0}С/мин, скорость охлаждения – 20 °С/мин. На рис. 1 приведена дилатометрическая кривая сплава 27Х15К2МТС при нагреве. На этой кривой можно выделить характерные температуры, связанные с фазовыми превращениями: 1035, 750, 670 и 620 °С. После закалки от 1250 °С сплав – однофазный, содержит ОЦК α-фазу с параметром, a = 0,2875 нм (высокотемпературный α-твёрдый раствор). Образец, закалённый в воде от 1250 °С и отожжённый при 1035 °С в течение 1 часа с последующей закалкой, содержит по данным рентгеноструктурного анализа тоже одну ОЦК α-фазу с параметром a = 0,2885 нм. После закалки и отжига при 750 °С в течение 2-х часов сплав становится двухфазным:содержит α-фазу с a = 0,2875 нм и тетрагональную σ-фазу состава $Fe_{1,01}Cr_{0,99}$ с a = 0,886 нм и c = 0,441 нм, степень тетрагональности c/a = 0,498. Закалка от 670 °С после 2-х часового отжига свидетельствует о наличии двухфазной структуры: α-фаза с a = 0,2875 нм + σ-фаза состава $Fe_{1,13}Cr_{0,87}$сa = 0,879 нм и c = 0,457 нм, c/a = 0,52. Соотношение фаз в структуре сплава по данным рентгеноструктурного анализа такое: 65,8% α-фазы и 32,4% σ-фазы. Скорее всего при 670°С начинается процесс выделения из высокотемпературного α-твёрдого раствора сложной σ-фазы со структурой β-U, а при 750°С он протекает наиболее интенсивно. Уменьшение степени тетрагональности σ-фазы и относительного содержания в ней Fe при 670°С может свидетельствовать скорее всего о том, что кобальт, как основной сигмаобразующий элемент в FeCrCo сплавах идёт в σ-фазу. Увеличение содержания в

магнитотвёрдых FeCrCo сплавах Cr и Mo приводит к резкому увеличению содержания σ-фазы в структуре сплава при температурах её максимального содержания. Для сравнения в сплаве 22Х15К с 22% Cr и 15% Co после длительного отжига при 750 °С максимальное содержание σ-фазы составляет ~10%, в сплаве 25Х15КЮБФ с 25% Cr и 15% Co после аналогичной термообработки содержится ~11,5% σ-фазы [2]. Для сравнения в двойных сплавах Fe – Cr содержится σ-фаза с a = 0,880 нм и c = 0,4544 нм, c/a = 0,516 [3]. Рентгенодифрактограмма после закалки и 2-х часового отжига при 620 °С даёт картину однофазного состояния закалённого α-твёрдого раствора сa = 0,2885 нм. При этом наиболее интенсивная линия (100) имеет несимметричные отклонения, которые могут быть свидетелями начала высококоэрцитивного распада высокотемпературного α-твёрдого раствора на два ОЦК твёрдых раствора $\alpha_1 + \alpha_2$, первый из которых обогащён Fe и Co, а второй Cr.

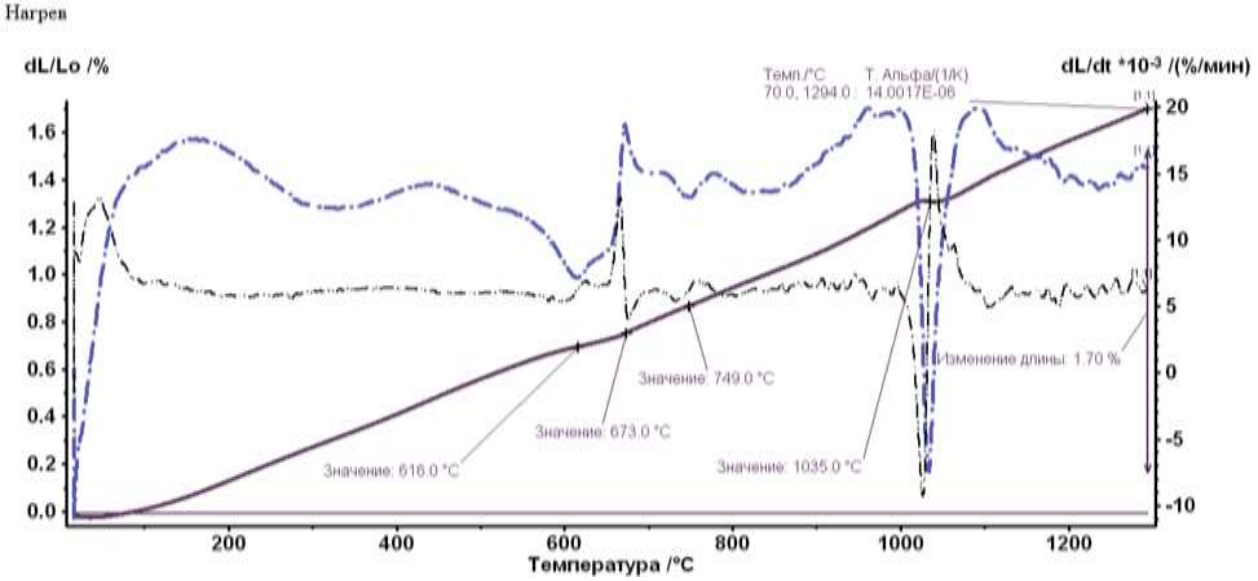


Рис. 1. Дилатометрическая кривая сплава 27Х15К2МТС при нагреве. Штрихпунктирные кривые обозначают первую и вторую производные изменения длины образца при нагреве.

В заключение выражаю с искренней признательностью благодарность научному руководителю работы: д.т.н., г.н.с. ИМЕТ РАН Миляеву Игорю Матвеевичу.

Литература

Алымов М.И., Анкудинов А.Б., Зеленский В.А., Миляев И.М., Юсупов В.С., Вомпе Т.А. Влияние поверхностно-активных добавок при помоле на процессы прессования, спекания и магнитные свойства порошкового сплава FeCrCoMoW // Перспективные материалы. – 2014. - № 4. - с. 51-57.

Миляев И.М., Пруцков М.Е., Лайшева Н.В., Миляев А.И., Юсупов В.С. О кинетике образования σ-фазы в магнитотвёрдых сплавах системы Fe-Cr-Co // Металлы. – 2010. - № 6. - с. 73-76.

Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. - М.: Изд-во «Элиз», 1999. - 581 с.

УДК 669.245, 621.9.048, 620.1

ВЛИЯНИЕ ЖАРОСТОЙКИХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

Виктория Михайловна Анисимова

Магистр 2 года,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Помельникова
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС) имеют достаточную длительную прочность и поэтому используются в качестве материала для лопаток газотурбинных двигателей (ГТД). Отрицательное влияние на длительную прочность оказывает требуемая по условиям работы двигателя повторяемость нагружения, что приводит к характерным разрушениям лопаток. Лопатки ГТД - наиболее нагруженные, ответственные и массовые детали авиационного двигателя. Они работают в тяжелых условиях высоких температур (~1100°С) и подвержены наиболее полному комплексу различных нагружений и повреждений, влияющих на их ресурс. Поэтому к материалу лопаток предъявляются высокие требования по жаропрочности и жаростойкости[1].

Высокий уровень жаропрочности ЖНС обусловлен упрочнением γ-твердого раствора легирующими элементами и γ'-фазой, γ'-фаза - главный упрочнитель, её частицы создают надежные препятствия для скольжения и переползания дислокаций в условиях высокотемпературной ползучести.

ЖНС обладают низкой жаростойкостью, поэтому на детали из таких сплавов наносят жаростойкие покрытия. Они должны надежно защищать жаропрочный сплав от окисления при высокой температуре в течение длительного времени (1000 ч и более), следовательно, к ним предъявляются особые требования [2]:

обеспечить защиту нагруженных деталей от газовой коррозии при 1000…1150°С в условиях циклического изменения температуры и наличии вредных примесей в продуктах сгорания топлива;

должны иметь минимальную скорость диффузионного обмена для того, чтобы защитные свойства покрытия в процессе эксплуатации не изменялись быстро;

должны обладать достаточной пластичностью и прочностью для того, чтобы покрытие не растрескивалось под влиянием термических и механических ударов и не оказывало отрицательного влияния на прочность защищаемой детали и др.

Тип покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации детали. При рабочих температурах на поверхности пера лопатки до 1000…1050°С применяются диффузионные алюминидные покрытия, что связано с относительной простотой и дешевизной технологии их получения. При увеличении температуры выше 1050°С диффузионные процессы на границе «материал-покрытие» усиливаются, что приводит к снижению содержания алюминия в покрытии. И в этом случае долговечнее становятся конденсированные покрытия.Конденсированные жаростойкие покрытия характеризуются большей долговечностью из-за наличия в их составе значительного количества иттрия, который в требуемом количестве не удается ввести в диффузионное покрытие.

В связи с различными свойствами данных типов покрытий используются комбинированные покрытия, так называемые конденсационно-диффузионные.

Целью работы являлось исследование жаростойкости образцов из ЖНС с нанесенными двухслойными ионно-плазменными покрытиями.

Исследования проводились на образцах цилиндрической формы, изготовленных из сплава ЖС6У. Наносили конденсационно-диффузионные покрытия: СДП-2 + ВСДП-11, СДП-2М + ВСДП-11 и ВСДП-11 + СДП-2.

Испытания на жаростойкость проводились согласно ГОСТ 6130-71. Цилиндрические образцы с покрытиями помещали в атмосферную камерную электропечь при температуре 1100 ºС с выдержками 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400 и 500 ч.

Результаты испытаний показали, что при температуре 1100 ºС и выдержке 500ч - работоспособно покрытие СДП-2 + ВСДП-11, остальные образцы с покрытиями СДП-2М + ВСДП-11 и ВСДП-11 + СДП-2 были сняты с испытаний из-за разрушения покрытий после 100 и 200 ч выдержках соответственно.

Литература

Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: МИСИС, 2006. - 632 с.
Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. - М.: Машиностроение, 2001. - 463 с.
Мубояджян С.А. Защитные покрытия для деталей горячего тракта ГТД // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2011. - № 4. – С. 13-20.
Мубояджян С.А. Промышленное ионно-плазменное оборудование для нанесения защитных покрытий // Энциклопедия инженера-химика. - 2012. - №5.
Жаропрочные сплавы и стали. Под общей редакцией академика РАН Каблова Е. Н. – М.: ВИАМ, 2013. – 58 с.

УДК 669.715.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ NI_3AL, ИЗГОТОВЛЕННОГО ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Юлия Вячеславовна Артеменко

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: М.В. Унчикова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»
О.А. Базылева,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по науке ФГУП «ВИАМ»

Высокая стоимость жаропрочных литейных сплавов, используемых для деталей газотурбинных двигателей, вызвала необходимость в разработке специальных технологий, позволяющих повысить экономичность производства. В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» разработана ресурсосберегающая технология получения никелевых жаропрочных деформируемых и литейных сплавов, в том числе и интерметаллидных, позволяющая изготавливать сплавы с использованием 100% кондиционных отходов. Выплавляемые по ресурсосберегающей технологии сплавы не уступают по чистоте и свойствам сплавам, изготовленным полностью из «чистой» шихты [1]. Применение ресурсосберегающей технологии для изготовления интерметаллидных жаропрочных сплавов является перспективным направлением.

Интерметаллидные жаропрочные материалы на основе алюминидов никеля обладают рядом уникальных свойств, позволяющих эксплуатировать эти сплавы вплоть до предплавильных температур, не подвергая их упрочняющей термической обработке. Однако конструкционный сплав на основе интерметаллида Ni_3Al, изготовленный с использованием отходов, полученных при выплавке и отливке заготовок и полуфабрикатов, имеет неоднородную структуру (ликвационная неоднородность) и, соответственно, нестабильный уровень свойств. Для решения этой задачи предлагается использовать упрочняющую термическую обработку, схожую с термообработкой литейных никелевых жаропрочных сплавов, включающую закалку и старение, для равномерного выделения γ'(Ni_3Al)-фазы правильной формы [2,3].

Монокристаллические образцы исследуемого сплава системы Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50% отходов, отлитыеметодом направленной кристаллизации, имеют дендритно-ячеистую структуру, характерную для интерметаллидных сплавов на основе соединения Ni_3Al, – в осях дендритов и междендритных областях частицы γ'-фазы разделены тонкими прослойками γ-твердого раствора, междендритные участки содержат частицы γ'-фазы неправильной формы и разного размера. Для улучшения эксплуатационных свойств необходимо, чтобы γ'-фаза присутствовала в виде дисперсных частиц кубоидной формы и γ-твердый раствор выделялся по границамγ'-фазы, обеспечивая пластичность сплава. Согласно ранее проведенным исследованиям, изменить морфологию γ'-фазы можно в результате использования термической обработки.

Целью работы является исследование влияния термической обработки, включающей закалку и старение, совмещенное с баротермической обработкой в газостате, на структуру и свойства сплава системы Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50 % отходов.

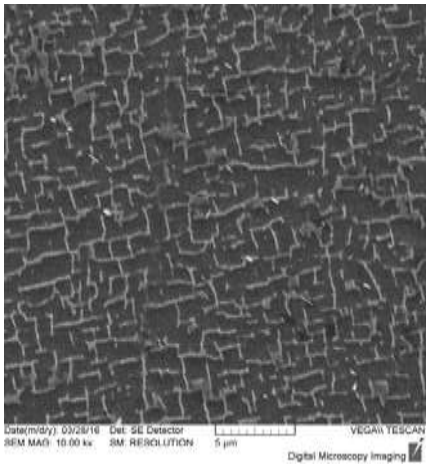
Исследования проводили на монокристаллических образцах с кристаллографической ориентацией [001], полученных методом высокоградиентной направленной кристаллизации на установке УВНС-5 с компьютерным управлением процессом.

Температуры нагрева были назначены с учетом температур фазовых превращений, полученных методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

Из трех режимов закалки (1 – $T_{зак}=T_S$ °С; 2 – $T_{зак}=(T_S+10)$°С; 3 – $T_{зак}=(T_S+20)$°С) был выбран режим с температурой нагрева (T_S +20)°С, который обеспечивает наибольшее растворение γ'-фазы.Далее были исследованы три режима старения (1 - 1125 ºС, 2 - 1150 ºС, 3 - 1175 ºС), совмещённые с баротермической обработкой в газостате. Время старения составляло 4 ч.

На основании проведенных исследований установлено, что термическая обработка, включающая закалку с температурой нагрева ($T_{зак}=T_S$ +20)°С и старением (1 – 1125ºС, τ = 4 ч), благоприятно влияет на структуру сплава, уменьшая ликвационную неоднородность и обеспечивая выделение частиц γ'-фазы правильной формы (рис. 1). Полученная структура сплава после термической обработки также обеспечивает стабильный уровень свойств, соответствующий уровню паспортных данных сплава (табл.1).

а)



б)

Рис.1. Микроструктура сплава системы Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50% отходов, после закалки при (T_S +20)°С и старением (1 – 1125ºС, τ=4 ч), совмещенным с баротермической обработкой: а) ×500; б) ×10000

Таблица1. Сравнительные характеристики паспортных свойств сплава и сплава, выплавленного по ресурсосберегающей технологии

Состояние	$б_в^{20}$,МПа	$б_{100}^{1100}$, МПа	$б_{R=0,1}^{900}$, МПа
Сплав системы Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta паспорт	1105	55÷60	550
Сплав системы Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, выплавленный по ресурсосберегающей технологии	1370	55÷60	520

Литература

Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е. Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование /под общ.ред. Е.Н. Каблова.–М.: ВИАМ, 2016. – 368 с.

Кишкин С.Т., Строганов Г.Б., Логунов А.В. Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. Разработка и исследование. - М.: Машиностроение, 1987.–116 с.

*Шалин Р.Е., Светлов И.Л., Кочанов Е.Б., Толорайя В.Н., Гаврилин О.С.*Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов. - М.: Машиностроение, 1997.–336 с.

УДК 669.018.58

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $NdFe_{12}$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Баскакова Мария Игоревна

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Н.И. Каменская,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Постоянные магниты исключительно высокой магнитной мощности изготавливаются из порошковых сплавов на основе редкоземельных металлов, в частности неодима и других, легированных другими металлами. Наилучшие результаты были достигнуты за счёт образования в таких сплавах интерметаллидного соединения $Nd_2Fe_{14}B$.

Начиная с 1984 года (появление $Nd_2Fe_{14}B$) принципиально новых соединений с перспективными свойствами как материалов для постоянных магнитов не появилось.

Интерметаллидноесоединение на базепромежуточной фазы$NdFe_{12}$ представляет интерес в качестве материала для постоянных магнитов в связи с высоким содержанием железа и, соответственно, высокой намагниченностью насыщения. Соединение 1:12 нестабильно и на данный момент в чистом виде получено только в виде пленок, поэтому фазу можно зафиксировать путем введения стабилизирующих элементов: Ti, V, Nb, Mo, Ta, W. Кроме того, плоскостная магнитокристаллическая анизотропия и относительно низкое значение температуры Кюри не позволяет использовать соединение 1:12 в качестве магнитотвердого материала. Решение этой проблемы возможно путем добавления в сплав элементов внедрения (H, C, N), наиболее перспективными из которых считается азот.

С целью изыскания перспективного магнитотвердого соединения с высокими магнитными характеристиками был взят тройной нитрид $NdFe_{11}Ti_1N_x$ (стехиометрический параметр x находится в пределах от 0,5 до 1). Это соединение может конкурировать с соединением $Nd_2Fe_{14}B$ прежде всего из-за более высокой точки Кюри (588 К против 340 К) при соизмеримых значениях намагниченности насыщения. Константа магнитной анизотропии, определяющей достижимые значения коэрцитивной силы у нитрида даже больше.

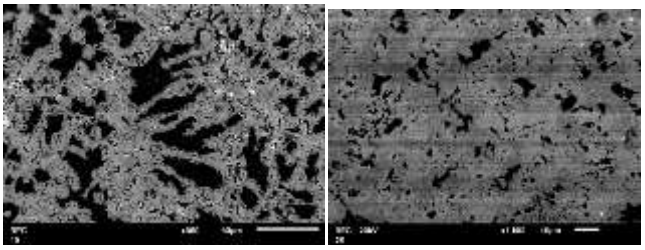
В связи с тем, что в России сплавы $NdFe_{12}$ еще не нашли широкого применения, в настоящей работе были проведены исследования возможности получения магнитотвердого порошка $NdFe_{12}$ на производственных мощностях АО «Спецмагнит» и его дальнейшего использования для изготовления постоянных магнитов.

Целью работы является исследование структуры и магнитных свойств порошковых сплавов редкоземельных металлов на основе системы $NdFe_{12}$ с добавлением титана и азота, на различных этапах их изготовления, т.е. в зависимости от технологии их изготовления.

Для этого в работе предусматривается решить следующие задачи:

1. Исследовать структуру и магнитные свойства порошкового сплава, легированного титаном на основе фазы состава $NdFe_{11}Ti_1$.
2. Исследовать и установить оптимальный режим гомогенизационногоотжига для получения требуемых магнитных свойств сплава на основе системы$NdFe_{11}Ti_1$.
3. Определить химический и фазовый составы после выплавки и после гомогенизации сплава спектральным и рентгеноструктурным методами.
4. Исследовать влияние режимов измельчения на размер частиц получаемых порошков. Установить оптимальные значения.

В рамках настоящей работы в вакуумной индукционной печи был выплавлен сплав на основе соединения $NdFe_{11}Ti_1$, который отжигали при различных режимах с последующей закалкой в воду с целью определения оптимального фазового состава.
Химический состав контролировали рентгенофлуоресцентным и плазменным методами. Химический состав сплава, % массовых долей к сплаву: 79,45% Fe; 15,7% Nd; 4,85% Ti. Фазовый состав контролировали рентгеноструктурным методом. Качественный фазовый состав сплава: Fe_α, $NdFe_{11}Ti_1$.
Металлографические исследования на световом микроскопе были проведены для сплава $NdFe_{11}Ti_1$ в двух состояниях: после выплавки, после выплавки споследующей гомогенизацией 900ºС в течение 120 часов. На рис. 1 представлена структура сплава Nd-Fe-Ti, в которой темные участки представляют собой Fe_α, а светлые - $NdFe_{11}Ti_1$.



а б

Рис. 1. Структура сплава $NdFe_{11}Ti_1$: а) после выплавки; б) после гомогенизации900ºС в течение 120 часов в вакууме

С целью уменьшения ликвациихимических элементов и фаз по объёму сплава $NdFe_{11}Ti_1$ был проведен гомогенизационный отжиг при 1100ºС в течение 336 часов в вакууме. Химический состав сплава не изменился, однако изменилась соотношение фаз. Зафиксировано увеличение количества ключевой фазы $NdFe_{11}Ti_1$.
После проведения гомогенизационного отжига образцы подвергались измельчению в шаровой вибрационной и планетарноймельницах в трех различных средах: изопропиловый спирт, хладон R-141b и толуол в течение различного времени. Определение среднего размера частиц проводили методами газопроницаемости и лазерной дифракции. При этом было исследовано влияние времени предварительного размола на средний размер частиц порошка.
Установлено, что средний размер частиц порошка ($d_{ср}$) быстро уменьшается при увеличении длительности измельчения до 40 (толуол) – 60 (хладон) минут. При дальнейшем увеличении времени измельчения наблюдается незначительное снижение $d_{ср}$ для среды изопропилового спирта, а для хладона имеет место некоторое укрупнение частиц, что возможно связано с налипанием мелких частиц на более крупные (образование конгламератов). При измельчении в среде изопропилового спирта наблюдается монотонное уменьшение $d_{ср}$ во всем исследованном интервале времени измельчения.
Установлено оптимальное время помола в среде хладона – 70 минут – для получения оптимального размера порошка $d_{ср}$ = 1,8 мкм.

Выводы:

1. Исследована структура порошкового сплава, легированного титаном состава $NdFe_{11}Ti_1$ в двух состояниях: после выплавки и гомогенизирующего отжига при различных режимах. Показано, что после проведения гомогенизирующего отжига в структуре сплавов сохраняется незначительное содержание выделений первичного железа
2. Установлен оптимальный режим гомогенизационного отжига при 1100ºС в течение 336 часов в вакууме. При такой температуре и времени выдержки значительно уменьшаетсяликвация химических элементов и фаз по объёму сплава $NdFe_{11}Ti_1$.

3. Определен химический и фазовый составы после выплавки и после гомогенизации сплава спектральным и рентгеноструктурным методами.Установлено, что химический состав после выплавки и различных режимах гомогенизационного отжига не изменился, фазовый состав составлял две фазы - Fe_{α}, $NdFe_{11}Ti_1$. Однако после гомогенизационного отжига при 1100°С в течение 336 часов в вакуумеувеличилось количество фазы $NdFe_{11}Ti_1$.
3. Исследовано влияние времени размолана размер частиц получаемых порошков.Показано, что при увеличении длительности измельчения средний размер частиц порошка dcp интенсивно снижается в течение первых 20 мин., при дальнейшем измельчении наблюдается незначительное снижение d_{cp}.
Далее полученные порошки будут подвергнуты азотированию. Цель азотирования – создание одноосной анизотропии в зоне внедрения азота, увеличение магнитной мощности за счёт образования интерметаллидного соединения $NdFe_{11}TiN$, повышение температуры точки Кюри и повышение намагниченности насыщения.
Дальнейшая задача - исследование влияния температурных режимов и способов азотирования (в среде особо чистого азота) на фазовый состав и магнитные свойства синтезированных нитридов $NdFe_{11}Ti_1N$.

Литература
Мишин Д.Д. Магнитные материалы.М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.
*Takashi M., Kiyoyuki T.*First-Principles Study of Magnetocrystalline Anisotropy and Magnetization in $NdFe_{12}$, $NdFe_{11}Ti$, and $NdFe_{11}TiN$, 2014. - pp. 1-4.
O'Handley R.C. Modern Magnetic Materials: Principles and Applications. M.: Ohn Wiley & Sons, 2000. - 726 p.
*Margarian A., Dunlop J.B.*Phase equilibria in the Fe - rich corner of the Nd – Fe - Ti ternary alloy system at 1100 °C, 2007, pp. 6152 – 6155.
Croat J.J. Crystallization and magnetic properties of melt-spun neodymium-iron alloys, 1981. - pp. 125-131.

УДК 621.762.4 + 621.785.3

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ СВЕРХУПРУГИМИ ТВЕРДЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Вианнэ Буайо

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л. В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Фуллерен – одна из аллотропных модификаций углерода, наряду с алмазом и графитом. Это молекулярное соединение представляющее собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа атомов углерода (рис. 1, а и рис. 1, б). Они стабильны до 800 °С. Эти молекулы образуют кристаллическую решетку со слабыми Ван-дер-Ваальсовыми связями (рис. 1, в). Такие молекулярные кристаллы называются фуллеритами.

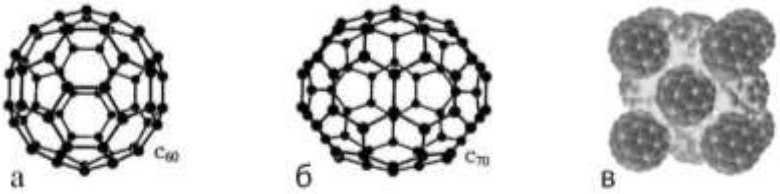


Рис.1. Схемы строения молекул фуллерена C_{60} (а), C_{70} (б) и фуллерита (в)

Превращение фуллеритов под давлением позволяет получать объемные сверхупругие и твердые углеродные материалы, которые можно использовать в качестве армирующих частиц для металлических композиционных материалов [1].

Изучение термической стабильности армирующих частиц в металлической матрице позволяет прогнозировать интервал рабочих температур композиционных материалов.Поэтому целью данного исследования являлось изучение влияния температуры отжига на физико-механические свойства этого материала, такие каквердость H_{IT}, модуль упругости E_{IT}, упругое восстановление при индентированииη_{IT}.

Металломатричные композиционные материалы (КМ) синтезированы из порошков кобальта с 10 вес. % неразделенной смеси фуллеренов C_{60}и C_{70}. Термобарические условия синтеза (800 °С, 8 ГПа) обеспечивали коллапс фуллереновых молекул, превращение их в частицы сверхупругой твердой углеродной фазы и одновременное спекание КМ. Исследование микроструктуры образцов и измерение физико-механических свойств (ГОСТ Р 8.748-2011) при комнатной температуре проводили с помощью динамического микротвердомера DUH-211 (Shimadzu, Япония), а при повышенных температурах (20… 500 °С) - на установке NanoTest (Micro Materials Ltd, Великобритания). Дилатометрические исследования проводили на 100 %углеродных образцах, синтезированных из фуллеренов при тех же условиях, на высокоскоростном термическом дилатометре DL-1500-RH.

В микроструктуре синтезированных КМ (рис. 2) наблюдаются гладкие однородные включения армирующей углеродной фазы размером до 200 мкм. Для этихвключений характерны высокие значения твердости и упругого восстановления R (H_{IT} = 24-33 ГПа, E_{IT} = 120 – 150 ГПа, R> 80%).

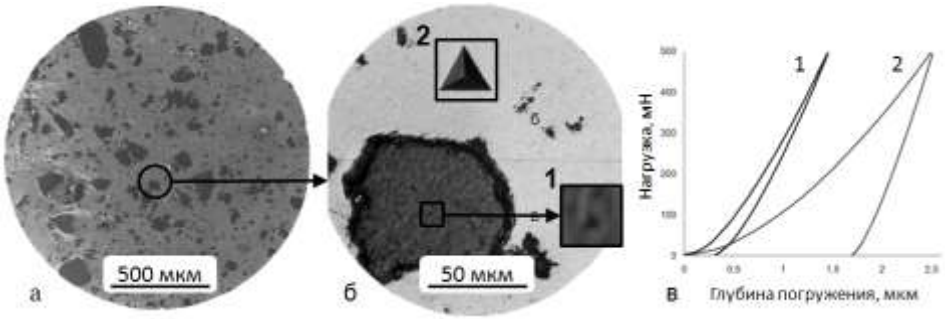


Рис. 2. Микроструктура КМ, полученного из кобальта и неразделенной смеси фуллеритов (а) с отпечатками индентора (б) и соответствующими им кривыми индентирования (в) для армирующих частиц (1) и матрицы (2) до отжигов

При высокотемпературном индентировании углеродных частиц не выявлено существенных изменений в твердости и упругом восстановлении при повышении температуры измерения до 400°С.При 500°С твердость значительно снижается и существенно возрастает остаточная деформация (кривая 1рис. 3). Этот эффект совпадает с температурой начала графитизации, установленной по результатам исследования теплового линейного расширения таких углеродных фаз (перегиб на кривой 2рис. 3).

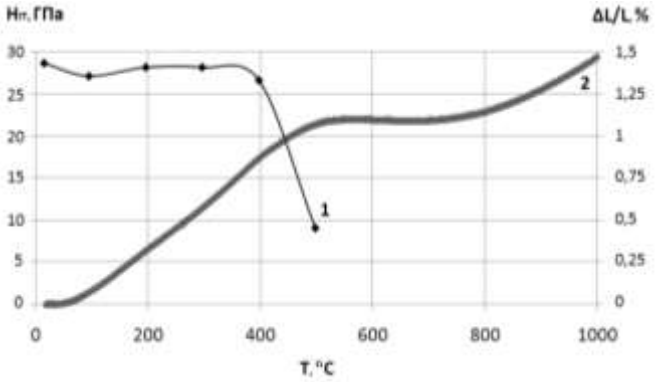


Рис. 3. Температурная зависимость твердости углеродных частиц в КМ (1) и относительного удлинения углеродного образца (2).

Литература

1.*Черногорова О.П., Дроздова Е. И., Блинов В. М., Овчинникова И.Н.* Влияние давления на образование сверхупругих твердых частиц в системе металл-фуллерен и трибологические свойства композиционных материалов, армированных такими частицами // Металлы. – 2011. – № 2. – С. 63-70.

УДК 669.715:621.78

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВАДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si НА ПАРАМЕТРЫ УРАВНЕНИЯ ДИАГРАММЫ ТЕМПЕРАТУРА-ВРЕМЯ-ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ

Ильяс Бенариеб

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. 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 машиностроениии строительстве благодаря хорошему сочетанию механических, коррозионных и технологических свойств. Для этих сплавов характерны высокая технологичность, надежность, коррозионная стойкость и удельная прочность[0,0].

Для упрочнения данных сплавов проводят термическую обработку из закалки и старения. Устойчивость пересыщенного твердого раствора (ПТР) при закалке, в первую очередь, определяется химическим составом сплава. Необходимую информацию об устойчивости твердого раствора дают диаграммы изотермических превращений (С-кривые) или диаграммы температура-время-свойство (ТВС) [0], которые описываются следующим уравнением [0,0]:

$$\tau_c(T) = -k_1 \cdot k_2 \cdot \exp\left(\frac{k_3 \cdot {k_4}^2}{RT(k_4 - T)^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{k_5}{RT}\right) \qquad (1)$$

Цель данной работы заключалась в определении влияния химического состава на устойчивость ПТР сплавов системы Al-Mg-Si. Для этого была разработана методика расчета параметров k_2 и k_3уравнения (1), и на основе имеющихся диаграмм температура-время-условный предел текучести данных сплавов [0,0] построены регрессионные модели зависимости этих параметров от химического состава.

В таблице 1 приведены результаты расчета параметров уравнения С-кривых ряда деформируемых сплавов в состоянии Т6.

Таблица 1. Марки сплавов системы Al-Mg-Si, их химический состав и параметры k_i уравнения С-кривых достижения 95% $\sigma_{0,2}^{max}$ в состоянии Т6

Марки сплавов	Содержание легирующих элементов, % масс.						Параметры уравнения С-кривых				
	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Cr	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
6082	0,59	0,92	0,1	0,5	0,75	0,25	-0,05	$7{,}09\cdot10^{-4}$	575	768	57
6007	0,81	1,18	0,02	0,39	0,14	0,14	-0,11	$1{,}01\cdot10^{-12}$	1104	817	131
6205	0,53	0,76	-	0,14	0,11	0,12	-0,11	$3{,}71\cdot10^{-10}$	408	746	131
6061	0,55	0,68	0,03	0,11	0,01	0,01	-0,11	$6{,}31\cdot10^{-9}$	283	744	131
6061	0,89	0,65	0,23	0,7	0,15	0,05	-0,05	$7{,}70\cdot10^{-4}$	279	794	57
6061	0,98	0,66	0,23	0,38	0,12	0,12	-0,11	$1{,}74\cdot10^{-9}$	462	806	131
6063	0,6	0,3	0,1	0,16	0,02	0,1	-0,11	$6{,}59\cdot10^{-11}$	97	714	131

В результате аппроксимации построены линейные регрессионные модели следующего вида:

$$k_2 = \left(5{,}9 - 18{,}8\cdot C_{Mg} + 3{,}3\cdot C_{Si} - 1{,}6\cdot C_{Mn} + 23{,}7\cdot C_{Cu} + 13{,}9\cdot C_{Fe} - 1{,}6\cdot C_{Cr}\right)\cdot 10^{-4}$$

$$k_3 = -815 + 1991\cdot C_{Mg} + 206\cdot C_{Si} + 609\cdot C_{Mn} - 3409\cdot C_{Cu} - 163\cdot C_{Fe} + 6\cdot C_{Cr},$$

где C_i– концентрация химического элемента, % масс.

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования предела текучести в различных точках фасонных изделий из деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si в состоянии Т6.

Литература

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.

Овчинников В.В., Грушко О.Е. Высокотехнологичный свариваемый алюминиевый сплав В1341 системы Al-Mg-Si // Машиностроение и инженерное образование. - 2005. - № 3. - С. 2–11.

Диаграммы изотермического распада раствора в алюминиевых сплавах. В.Г. Давыдов, В.В. Захаров, Е.Д. Захаров, И.И. Новиков. Справочникпоред. И.И. Новикова. М.,:Металлургия, 1973. -с.152.

StaleyJ.T. QuenchFactorAnalysisofAluminumAlloys. *Mat. Sci. Tech.*, 1987. 3 (11). -p. 923-935.

Пучков Ю.А., Фам Хонг Фу. Построение диаграмм достижения свойств термически упрочняемых алюминиевых сплавов методом торцевой закалки // Заготовительные производства в машиностроении. - 2015. - № 3. - с. 33-38.

*GeorgeF. VanderVoort.*Atlasoftime-temperaturediagramsfornonferrousalloys. ASMInternational, 1991. - p. 474.

TiryakiogluM., Shuey R.T. Quench Sensitivity of an Al-7 Pct Si-0.6 Pct Mg Alloy Characterization and Modeling. Metall. Mater. Trans. – 2007, Vol. B. - 38:575-582.

УДК 669.245

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОГО АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Владислав Кириллович Гаазе[(1)], Юлия Александровна Лопатина[(2)]

Студент 3 курса[(1)],
кафедра Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Магистр 1 года[(2)],
кафедра«Технологии материалов электроники»
Московский институт стали и сплавов

Научный руководитель: С.П. Щербаков,
ассистент кафедры «Материаловедение»

На основе литературного обзора установлена актуальность разработки технологии введения добавок частиц карбида кремния и измельчённых 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 – измельчённые волокна оксида алюминия диаметром 10-20 нм и частицы карбида кремния размером 20 мкм. 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 [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Калашников Игорь Евгеньевич. – ИМЕТ им. А.А.Байкова РАН. – Москва, 2011. – 428 с.
2. Смачиваемость и межфазное взаимодействие в металлическом композиционном материале на алюминиевой матрице, армированной оксидом алюминия / В.М. Серпова, А.А. Шавнев, О.И. Гришина, Е.Н. Краснов, Ю.О. Соляев // Материаловедение № 12, 2014, с. 29-35.
3. Исследование механических свойств МКМ на основеалюминиевого сплава, армированного дисперсными частицами карбида кремния / *Ю.А. Курганова, В.В. Березовский, Ю.О. Соляев, С.А. Лурье, А.А. Шавнев* // Деформация и разрушение материалов №12, 2014, с. 12-16.

УДК 669.245

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Никита Андреевич Головлев

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Научный руководитель: О.А. Базылева,
кандидат технических наук, заместитель начальника лаборатории по науке «Жаропрочные сплавы на никелевой основе» ФГУП ВИАМ

Требования, предъявляемые к современным газотурбинным двигателям, диктуют необходимость применения новых жаропрочных сплавов для изготовления элементов конструкций. В настоящее время для серийного производства статорных деталей ГТД, в том числе сопловых лопаток с равноосной структурой, применяются литейные жаропрочные никелевые сплавы ЖС6У и ВЖЛ12У. Однако, их применение ограничено рабочими температурами до 1050°С и относительно высокой, до 8,4 г/см^3, плотностью, что влияет на весовую эффективность газотурбинного двигателя.
В качестве наиболее перспективного материала для изготовления статорных деталей ГТД в последнее время рассматриваются сплавы на основе интерметаллидной фазы Ni_3Al (γ'-фаза). Количество упрочняющей γ'-фазы в сплавах ВКНА благодаря более высокому содержанию алюминия составляет 85…90%, что обеспечивает им наиболее высокие рабочие температуры среди никелевых жаропрочных сплавов при значительном выигрыше по плотности [1].
Получение заготовок деталей с применением аддитивных технологий открывает перспективы более широкого внедрения сплавов на основе интерметаллида никеля. Это происходит за счет полной автоматизации процесса лазерного синтеза деталей, исключения влияния человеческого фактора на стадии производства при гарантированном качестве исходного материала – металлопорошковой композиции [2]. Технология селективного лазерного сплавления (СЛС) позволяет уйти от ограничений литейной технологии и перейти к проектированию и изготовлению деталей с применением топологической оптимизации (бионического дизайна), что обеспечит значительную экономию массы деталей двигателя [3].
Цель настоящей работы заключается в установлении влияния технологических параметров селективного лазерного сплавления на пористостьинтерметаллидного сплава ВКНА-4УР.
В качестве основных варьируемых технологических параметров СЛС были выбраны мощность лазерного излучения, скорость сканирования, межтрековое расстояние. Исследования

проводили при фиксированных значениях толщины слоя порошка и температуры подогрева платформы. Образцы изготавливали с применением ленточной штриховки с постоянной толщиной ленты.

Для предотвращения трещинообразования сплава типа ВКНА-4УР рабочую платформу установки EOSM290 подогревали до максимально возможной температуры 200°С.

Микропористость определяли на нетравленых шлифах на металлографическом комплексе фирмы «Leica» при увеличениях ×50 , ×100. Съемку изображений проводили при помощи цифровой камеры VEC-335 (3 мегапикселя). Подготовку изображений к количественному анализу и их математическую обработку выполняли при помощи компьютерной программы Image Expert Pro 3x.

В результате структурных исследований установлено увеличение микропористости синтезированного материала при уменьшении межтрекового расстояния при постоянной скорости сканирования и незначительном изменении мощности лазера, что связанно с увеличением глубины проплавления треков за счет их большего перекрытия и лучшей теплопроводности сплавленного материала.

Полученные результаты свидетельствуют о пригодности сплава типа ВКНА-4УР для изготовления деталей методом СЛС. Потенциальными потребителями являются предприятия, входящие в интегрированную структуру АО «ОДК»[4].

Литература

Каблов Е. Н., Колобов Ю.Р. Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением.. - М.: Издательский дом МИСиС, 2008.-328 с.

Каблов Е.Н.. Петрушин Н.В., Светлов И.Л., Демонис И.М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения //Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №1. - С. 36-51.

*Каблов Е.Н.*Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. - 2015. - №1. - С. 3-33.

Шмотин Ю.Н., Старков Р.Ю., Данилов Д.В., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Новые материалы для перспективного двигателя ОАО «НПО «Сатурн»//Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №2. - С.6-8.

УДК 669.018.25

РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Софья Васильевна Горбунова

Студент4курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Электромагнитное излучение окружает человека на протяжении всей его жизни. За последнее время человек стал использовать электромагнитное излучение (ЭМИ) различной частоты для множества различных целей.В военных целях применение ЭМИ связано с обнаружением военной техники, а также для навигации. Уменьшение радиолокационной заметности летательных аппаратов и других образцов военной техники является одной из важнейших задач для повышения её эффективности.

Целью работы является получение радиопоглощающего композиционного керамического материала на основе карбида кремния, работающего при высоких температурах (до 700°С) и в широком диапазоне частот (от 0,3…10 ГГц).

Существует проблема применения радиопоглощающих материалов в двигателях самолетов из-за высоких температур (до 1000 °С) и сильных вибраций его элементов. В настоящее время в качестве наиболее эффективного способа уменьшения заметности самолетов применяются различные покрытия на детали самолета и специфическая форма самого самолета и его агрегатов. Однако детали двигателя, в частности воздухозаборник и сопло, невозможно покрыть теми же материалами что и корпус самолета. Данная проблема и стала основной идеей для создания совершенно нового, не имеющего аналогов на рынке, радиопоглощающего композитного материала.

Общая технологическая схема процесса получения радиопоглощающего материала на основе карюида кремния с применением литья из термопластичных шликеров сводится к следующему: 1) подготовке дисперсной фазы; 2) приготовлению термопластичной связки; 3) приготовлению шликера; 4) подготовке форм к литью; 5) литью; 6) удаление связки; 7) спеканию. Литье термопластичных шликеров применят при изготовлении электроизоляционных и радиотехнических изделий, магнитопроницаемой керамики, изделий из порошков. Отливки из термопластичных шликеров прочны, имеют высокую чистоту поверхности и точные размеры. Способ обеспечивает минимальную загрязненность материала инородными примесями.

Первоначально исследовали модельный материал- карбид кремния и керамическая связка на основе полевых шпатов(алюмосиликаты натрия и калия). Исходные порошки карбида кремния и керамической связки смешивали в планетарной мельнице сухим методом, в течении 5 часов. В качестве мелящих тел использовали шары карбида вольфрама диаметром 5 мм. Соотношение материал-шары=1:1 по массе. Затем, в полученную шихту вводили 10% массовых временной технологической связки(10% раствор поливинилового спирта). Далее порошок с введенной связкой протирали через сито 0,1(ячейка размером 0,1 мм^2). После этого взвешенную навеску порошка засыпали в металлическую пресс-форму, размером 23×10мм. Пресс-форму помещали в пресс и нагружали при разных удельных давлениях. Прессовка производится в две стадии: 1) давление 70% от максимального, затем спуск давления; 2) давление 100%, выдержка 20с, затем спуск давление. Затем образец извлекается из пресс-формы и помещается в печь для дальнейшего обжига. Далее проводили предварительные исследования по оптимальной температуре обжига. Образцы обжигали при температурах 1100, 1150, 1200°С, потом измеряли плотность, открытую пористость, прочность при изгибе, микротвердость. На каждую термообработку было по 15 образцов. Состав образцов SiC/К3 = 50/50 массовых процентов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав исследуемых образцов

Температура, °С	Плотность, г/см3	Открытая пористость,%	Прочность при изгибе, МПа
1100	2,54	7	10
1150	2,68	4	33
1200	2,68	4	25

Свойства механические при оптимальной температуре обжига 1150°С для материалов с разным соотношением SiC/Керамическая связка, полученные методом прессования приведены на рисунке 1.

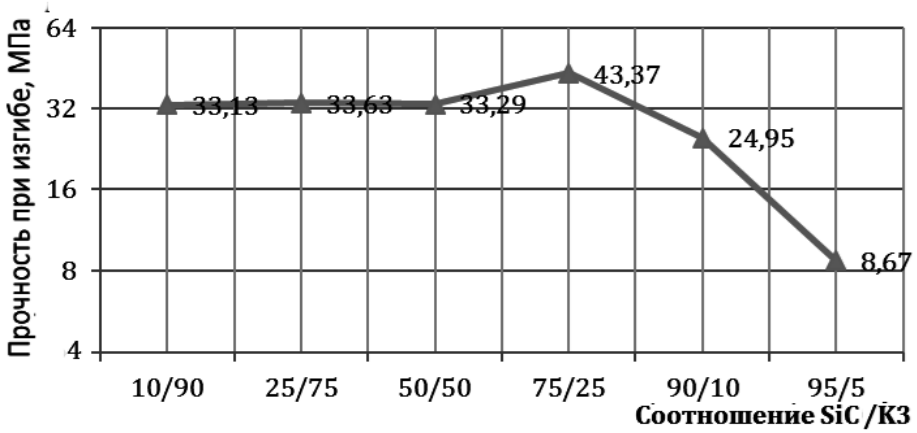


Рис. 1.Изменение прочности при изгибе после обжига при 1150 °С образцов с разным соотношением SiC/КЗ

Исследования показали, что наилучшие механические свойства отмечаются у материала с соотношением SiC/КЗ = 75/25 массовых процентов.

Выводы:

1. Наилучшие механические свойства отмечаются у материала с соотношением SiC/КЗ = 75/25 массовых процентов.

2. Для выбора оптимального метода изготовления композитного радиопоглощающего материала проведено еще не достаточно исследований.

Литература

Сулименко Л.М. Общая технология силикатов: учебник. - М.: Инфра, 2004. - 335 с.

Балкевич В.Л. Техническая керамика: учебное пособие для ВТУЗов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. - 256 с.

Добровольский А.Г. Шликерное литье. - М.: Металлургия, 1977. - 240 с.

Богуш В. А., Борботько Т. В., Гусинский А. В. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты, 2003.

Гнесин Г.Г., Дубок В.А., Братерская Г.Н. и др. Спеченные материалы для электротехники и электроники. Справочник. - М.: Металлургия, 1981. - 344 с.

Zhiwei Peng, Jiann-Yang Hwang, Matthew Andriese. Design of double-layer ceramic absorbers for microwave heating. – 2013.

УДК 669.018.25

РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Софья Васильевна Горбунова

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Электромагнитное излучение окружает человека на протяжении всей его жизни. За последнее время человек стал использовать электромагнитное излучение (ЭМИ) различной частоты для множества различных целей.В военных целях применение ЭМИ связано с обнаружением военной техники, а также для навигации. Уменьшение радиолокационной заметности

летательных аппаратов и других образцов военной техники является одной из важнейших задач для повышения её эффективности.

Целью работы является получение радиопоглощающего композиционного керамического материала на основе карбида кремния, работающего при высоких температурах (до 700°С) и в широком диапазоне частот (от 0,3…10 ГГц).

Существует проблема применения радиопоглощающих материалов в двигателях самолетов из-за высоких температур (до 1000 °С) и сильных вибраций его элементов. В настоящее время в качестве наиболее эффективного способа уменьшения заметности самолетов применяются различные покрытия на детали самолета и специфическая форма самого самолета и его агрегатов. Однако детали двигателя, в частности воздухозаборник и сопло, невозможно покрыть теми же материалами что и корпус самолета. Данная проблема и стала основной идеей для создания совершенно нового, не имеющего аналогов на рынке, радиопоглощающего композитного материала.

Общая технологическая схема процесса получения радиопоглощающего материала на основе карюида кремния с применением литья из термопластичных шликеров сводится к следующему: 1) подготовке дисперсной фазы; 2) приготовлению термопластичной связки; 3) приготовлению шликера; 4) подготовке форм к литью; 5) литью; 6) удаление связки; 7) спеканию. Литье термопластичных шликеров применят при изготовлении электроизоляционных и радиотехнических изделий, магнитопроницаемой керамики, изделий из порошков. Отливки из термопластичных шликеров прочны, имеют высокую чистоту поверхности и точные размеры. Способ обеспечивает минимальную загрязненность материала инородными примесями.

Первоначально исследовали модельный материал- карбид кремния и керамическая связка на основе полевых шпатов(алюмосиликаты натрия и калия). Исходные порошки карбида кремния и керамической связки смешивали в планетарной мельнице сухим методом, в течении 5 часов. В качестве мелящих тел использовали шары карбида вольфрама диаметром 5 мм. Соотношение материал-шары=1:1 по массе. Затем, в полученную шихту вводили 10% массовых временной технологической связки(10% раствор поливинилового спирта). Далее порошок с введенной связкой протирали через сито 0,1(ячейка размером 0,1 мм^2). После этого взвешенную навеску порошка засыпали в металлическую пресс-форму, размером 23×10мм. Пресс-форму помещали в пресс и нагружали при разных удельных давлениях. Прессовка производится в две стадии: 1) давление 70% от максимального, затем спуск давления; 2) давление 100%, выдержка 20с, затем спуск давление. Затем образец извлекается из пресс-формы и помещается в печь для дальнейшего обжига. Далее проводили предварительные исследования по оптимальной температуре обжига. Образцы обжигали при температурах 1100, 1150, 1200°С, потом измеряли плотность, открытую пористость, прочность при изгибе, микротвердость. На каждую термообработку было по 15 образцов. Состав образцов SiC/К3 = 50/50 массовых процентов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав исследуемых образцов

Температура, °С	Плотность, г/см3	Открытая пористость,%	Прочность при изгибе, МПа
1100	2,54	7	10
1150	2,68	4	33
1200	2,68	4	25

Свойства механические при оптимальной температуре обжига 1150°С для материалов с разным соотношением SiC/Керамическая связка, полученные методом прессования приведены на рисунке 1.

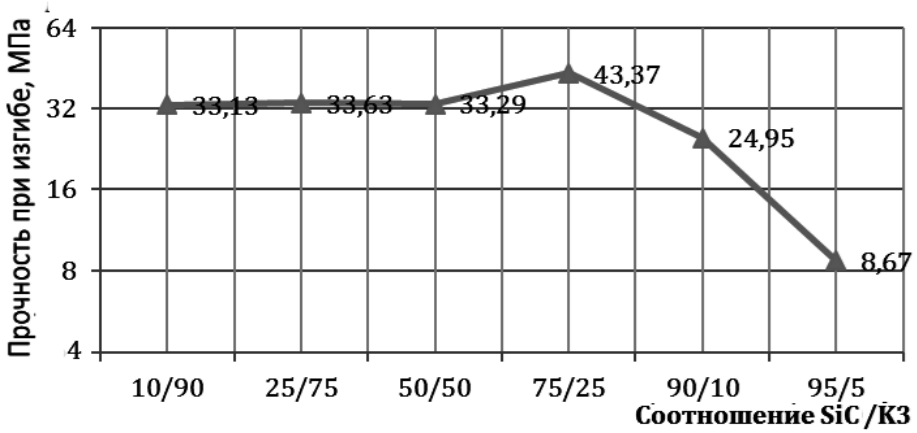


Рис. 1.Изменение прочности при изгибе после обжига при 1150 °С образцов с разным соотношением SiC/КЗ

Исследования показали, что наилучшие механические свойства отмечаются у материала с соотношением SiC/КЗ = 75/25 массовых процентов.

Выводы:

1. Наилучшие механические свойства отмечаются у материала с соотношением SiC/КЗ = 75/25 массовых процентов.

2. Для выбора оптимального метода изготовления композитного радиопоглощающего материала проведено еще не достаточно исследований.

Литература

Сулименко Л.М. Общая технология силикатов: учебник. - М.: Инфра, 2004. - 335 с.

Балкевич В.Л. Техническая керамика: учебное пособие для ВТУЗов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. - 256 с.

Добровольский А.Г. Шликерное литье. - М.: Металлургия, 1977. - 240 с.

Богуш В. А., Борботько Т. В., Гусинский А. В. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты, 2003.

Гнесин Г.Г., Дубок В.А., Братерская Г.Н. и др. Спеченные материалы для электротехники и электроники. Справочник. - М.: Металлургия, 1981. - 344 с.

Zhiwei Peng, Jiann-Yang Hwang, Matthew Andriese. Design of double-layer ceramic absorbers for microwave heating. – 2013.

УДК 621.787

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ЧУГУНА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

Арсений Андреевич Горковцов

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Гильза цилиндров двигателей является одной из наиболее ответственных деталей. В процессе эксплуатации происходит износ внутренней поверхности гильзы, что в конечном итоге,

снижает ресурс работы машин. Одним из направлений повышения износостойкости гильз цилиндров является увеличение твердости поверхностного слоя.

Электромеханическая обработка (ЭМО) является одним из методов формирующая высокую поверхностную твердость на заготовках из сталей и чугунов.

В исследованиях приведены результаты изменения твердости поверхностного слоя чугунных образцов после электромеханической поверхностной закалки (ЭМПЗ). Принципиальная схема ЭМПЗ приведена на рисунке 1.

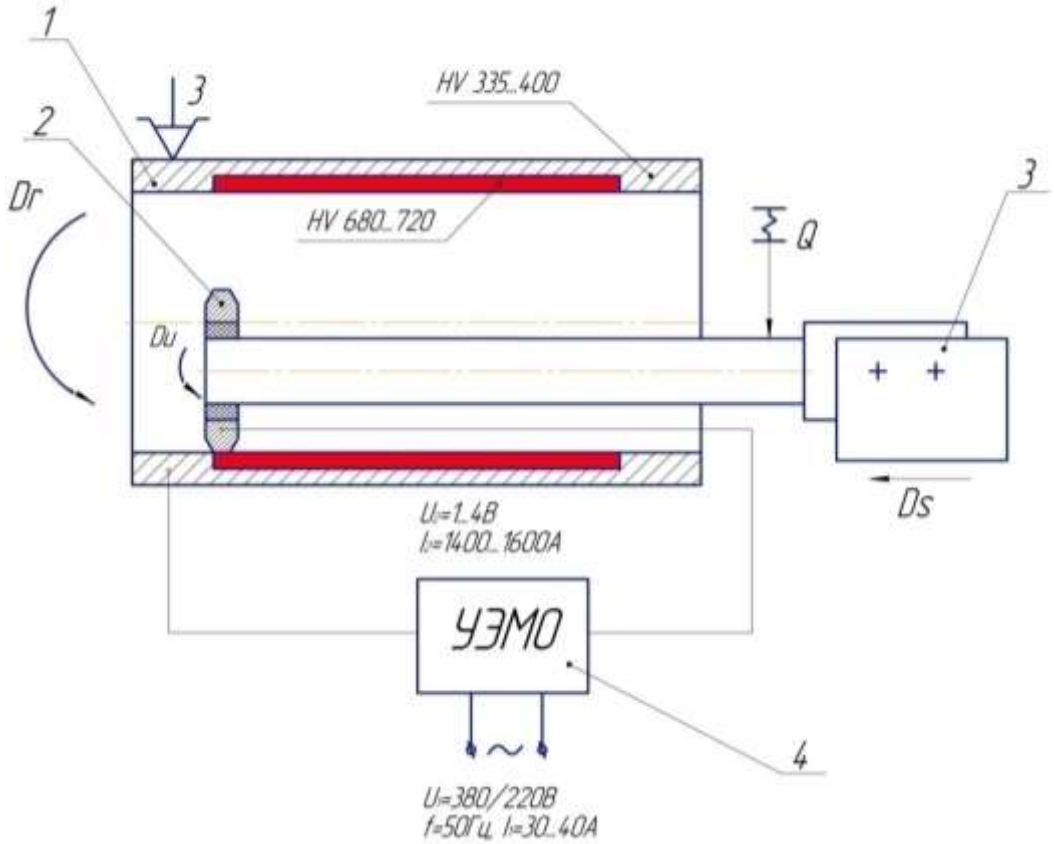


Рис. 1. Принципиальная схема электромеханической поверхностной закалки
1 – гильза цилиндра; 2 – инструментальный ролик; 3 – державка;
4 –установка электромеханической обработки

Проведены исследования теплостойкости образцов после ЭМПЗ. Исследования выполнены при нагреве образцов в печи в течение 15 минут при температурах от 100 до 500˚С. результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований теплостойкости образцов

№ образца\ Т ℃	Твердость, HRC								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1	71,9	69,0	71,9	71,7	68,0	68,3	61,9	57,8	63
2	69,8	70,5	67,4	62,4	67,9	74,1	72,0	68,4	67,3
3	70,9	67,3	67,0	71,7	67,7	68,0	59,3	67,8	63,5
4	62,9	66,5	66,6	66,7	63,1	68,5	67,3	67,1	62,7
5	75,8	66,4	75,2	71,1	60,1	66,4	65,3	64,0	63,4
6	64,5	64,2	72,1	69,3	60,7	68,0	70,5	63,0	63,2
7	66,1	67,3	63,1	71,0	62,8	69,9	64,0	64,6	63,7
8	65,8	57,9	68,7	67,3	64,6	67,1	70,0	67,5	63,0
9	66,0	66,7	75,4	71,0	68,3	69,6	69,8	63,2	53,8
10	73,2	69,3	65,0	60,7	67,2	66,7	64,6	65,7	59,7
Среднее значение твердости	68,7	66,5	69,2	68,3	65,0	68,7	66,5	64,9	62,3

Литература

С.К. Федоров, Л.В. Федорова. Электромеханическая обработка. РИТМ . –2012 – № 2 (70). - с. 14-16.

Б.М. Аскинази. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. Производственное издание. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ВКС-7 И ВКС-10 ДО И ПОСЛЕ КРИОБАРОДЕФОРМИРОВАНИЯ

Екатерина Александровна Евсюткина

Студент 5 курса, магистр 1года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Фахуртдинов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Повышение комплекса эксплуатационных свойств ответственных деталей машин заключено в разработке новых технологий термической обработки, обеспечивающих объемное и поверхностное ультрамелкозернистое (УМЗ) состояние. Оно приводит к высокопрочному состоянию при высоком запасе пластичности и вязкости, что крайне необходимо в обеспечении эксплуатационной надежности деталей машин.

Одним из способов получения УМЗ является разработанный в Харьковском научно-техническом институте метод интенсивной пластической деформации при криогенной температуре в условиях всестороннего сжатия, названного криобародеформированием (КБД). [1]

Возникла идея применить данный метод обработки на материалах высоконагруженных деталей. Таковыми являются, например, теплостойкие стали, из которых изготавливают зубчатые колеса редукторов различного назначения. Проводились исследования структуры и свойств сталей

ВКС-7 и ВКС-10 до и после КБД методами металлографического, рентгеноструктурного анализов, а также дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). [2]
Металлографичекие исследования показали схожее влияние степени деформации на структуру данных сталей, в частности на размер зерна (табл. 1,2).

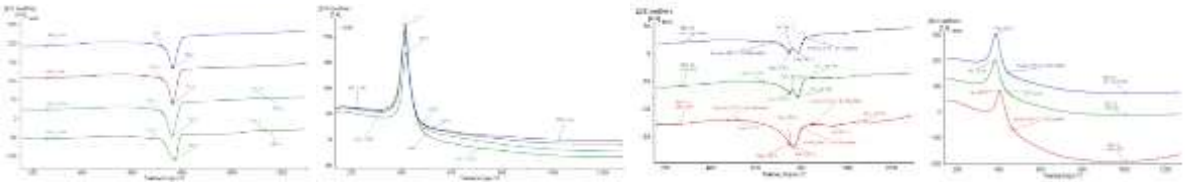
Таблица 1. Размер и балл зерна стали ВКС-7 в зависимости от степени деформации

ε, %	0	8	24	38
Номер зерна/d(мкм)	9/14	9/15	10/13	9/15

Таблица 2. Размер и балл зернастали ВКС-10 в зависимости от степени деформации

ε, %	0	9	28	38
Номер зерна/d(мкм)	8/20	9/15	9/17	8/22

Микротвердость сталей повышалась за счет проведения деформации, однако при максимальных степенях деформации значения несколько снижались. Для стали ВКС-7 максимальное значение микротвердости 400±15HV0,1 было достигнуто при степени деформации ε = 24%; для стали ВКС-10 520±10 HV0,1 при ε = 9%.
По результатам ДСК можно судить о уровне термоустойчивости данных сталей. После криобародеформирования термическая стабильность сталей ВКС-7 и ВКС-10 несколько снижается (рис. 1).



а) б) в) г)

Рис. 1 - Кривые ДСК для исходного и деформированных образцов: а), б) - стали ВКС-7 (ε=8%; ε=24%; ε=38%); в), г) - стали ВКС-10 (ε=9%; ε=28%) при нагреве и охлаждении

Литература

1. *Хаимович П.А.* От гидроэкструзии к криобародеформированию // Физика и техника высоких давлений. 2009, том 23, N 1. С. 56-67.
2. Основы дифференциальной сканирующей дилатометрии: метод. указания к лабораторной работе / МГУ им. М. В. Ломоносова. Москва, 2010. С.35.

УДК 621.762

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НИРЕЗИСТА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ирина Михайловна Гребенюк [(1)], Екатерина Севрюгина [(2)], Виктория Роменская[(2)]

Студент 6 курса[(1)], кафедра «Материаловедение»
Студент 2 курса[(2)],кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л. В.Федорова,
Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение».

Исследованы опытные образцы чугунов типа нирезист с аустенитной матрицей и различными вариантами карбидов. Металлографическим исследованиям подвергнута деталь ступень нефтяного электроцентробежного насоса фирмы Schlumberger, изготовленная из нирезиста. Детали и образцы из нирезиста подвергнуты упрочняющей электромеханической поверхностной закалке (ЭМПЗ) и химико-термической обработке карбонитрацией.
Выбор технологий упрочнения деталей обусловлен тем, что ониэксплуатируются в агрессивной среде и основным материалом являются коррозионностойкие чугуны ЧН16Д7ГХ. Это высоконикелевые чугуны аустенитного класса с шаровидным или пластинчатым графитом со специальными свойствами. Посредством легирования обеспечиваются и требуемые эксплуатационные свойства: жаропрочность, жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость, парамагнитность, хладостойкость. Исследовано влияние различных элементов на структуру чугуна. Известно, что Ni, Co, Cu, Si оказывают графитизирующее влияние, способствуют размельчению выделений графита и в то же время позволяют получить более дисперсные перлитные игольчатые и мартенситные структуры. Такие элементы в составе чугунов, как Cr, Mo, W, V препятствуют графитизации и могут образовывать, при достаточном их количестве, специальные карбиды.
Представлены результаты металлографических исследований образцов нирезиста после электромеханической поверхностной закалки и карбонитрации. Отмечено увеличение микротвердости с 235HV до 435HV. Глубина слоя при ЭМПЗ составила 150…200 мкм, а после карбонитрации - до 20 мкм.

Литература

1. *Федорова Л.В., Федоров С.К.* Электромеханическая обработка // РИТМ. - 2012. - № 2(70). -с. 14 – 16.
2. *Федорова Л.В., Фрилинг А.В., Морозов А.В.* Повышение эффективности электромеханической закалки отверстий гладких цилиндрических подвижных сопряжений испытывающих одностороннюю радиальную нагрузку // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2012 - №8. – С.49-53.
3. *Федорова Л.В., Федоров С. К., Габидов А.Г., Бураков В.О.* Повышение износостойкости втулок защитных покрытий насосов электромеханической поверхностной закалкой // Международный технико-экономический журнал. - 2013. -
№ 5. -С. 91-96.

УДК 669.018.44

ПОВЫШЕНИЕ ЖАРОПРОЧНОСТИ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО СПЛАВА Х65НВФТ ПУТЁМ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ

Федор Дмитриевич Еремеев

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Н. Симонов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Критические детали авиакосмических двигателей, в частности камеры сгорания, изготавливаются из высокопрочных сложнолегированных хромоникелевых сплавов, таких как Х65НВФТ. Данный сплав успешно применяется в качестве конструкционного материала в агрессивных газовых средах при температуре эксплуатации 900°С [1]. Создание нового поколения двигателей и энергетических двигательных установок космических аппаратов требует разработки нового класса материалов для длительной эксплуатации в условиях воздействия температуры порядка 1250°С, продуктов разложения топлива (азот, кислород) и факторов космического пространства (вакуум).

Известно [2], что разрушение хромоникелевых сплавов при высоких температурах происходит вследствие так называемого эффекта ползучести. В сплаве Х65НВФТ за пластическую деформацию отвечает γ-фаза на основе никеля, поэтому с целью повышения жаропрочности была предпринята попытка упрочнения данной фазы. В работах [3-4] показано, что для упрочнения пластичной γ-фазы на основе никеля эффективно использовать добавки следующих тугоплавких металлов: Ta, Nb, Hf, Zr. Происходящее при легировании упрочнение пластичной γ-фазы можно объяснить с точки зрения теории когезионной прочности.

Показано, что добавление малолегирующих элементов приводит к изменению морфологии γ -фазы на основе никеля. С помощью микрорентгеноспектрального анализа выявлены закономерности распределения малолегирующих добавок в экспериментальном сплаве.

Проведен рентгенофазовый анализ, в ходе которого установлено, что в экспериментальном сплаве наблюдается увеличение периода кристаллической решетки γ -фазы, что можно связать с растворением в ней добавок Ta, Nb, Hf, Zr.

Результаты механических испытаний в интервале температур от 20 до 1080 °С показывают, что у экспериментального сплава при повышенных температуратурах испытания наблюдается значительное снижение относительного удлинения с 136 до 20% при одновременном возрастании предела прочности.

Показано, что при испытаниях на ползучесть при температурах 800 и 1000°С время установившейся стадии сплава с малолегирующими добавками превышает время данной стадии базового сплава в 3…4 раза.

Литература

Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник в 5 т. Под общ. ред. И. В. Кудрявцева. Т. 3. Специальные стали и сплавы. Под ред. Ф. Ф. Химушина. - М.: Машиностроение, 1968. - 448 с.

Hildebrand H., Michalzik G., Simmen B. Properties of superplastic Cr-Ni steel // Metals Technology. - 1977. - January. - P. 32-36.

А.Г. Береснев, В.И. Разумовский, А.Ю. Лозовой и др. Развитие теории легирования для создания нового поколения жаропрочных никелевых сплавов, получаемых методами порошковой металлургии. // Металлургия гранул. Композиционныематериалы. – 2012. -№ 2. -с. 52-61.
V. N. Butrim, V. I. Razumovskiy, A. G. Beresnev, A. S. Trushnikova, I. M. Razumovskii. Effect of a Number of Transition Metals on the Cohesive Properties of Cr-Ni-Base Alloys. // Materials Science Forum, 2017. - Vol. 879. - P. 1998-2002.

УДК 621.785.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ХРОМОКРЕМНЕМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ С МОЛИБДЕНОМ И БОРОМ

Марина Игоревна Зверева

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: М.Ю. Матросов,
кандидат технических наук, директор центра сталей для труб и сварных конструкций ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»
Н.И. Каменская,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Для сталей, предназначенных для изготовления деталей горнодобывающего оборудования, работающих в условиях высоких ударных нагрузок, актуальной является проблемапроизводства высокопрочного проката, обладающего высокой ударной вязкостью, в особенности при отрицательных температурах.
Эффективным способом одновременного повышения прочности и сопротивления хрупкому разрушению является измельчение элемента структуры (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. Размер зерна стали также может быть уменьшен при последующей термической обработке - в процессе нагрева проката под закалку.
Целью работыявляется разработка оптимального режима термической обработки, обеспечивающего высокий уровень ударной вязкости при отрицательных температурах и требуемые высокие прочностные свойства листового проката.
Для достижения поставленной цели должны быть выполнены следующие задачи:
- проведение исследований изменения микроструктуры в процессе нагрева проката под закалку по различным режимам;
- проведение исследований изменения механических свойствв процессе нагрева проката под закалку по различным режимам.
Для проведения исследований были выплавлены лабораторные слитки из низкоуглеродистой стали, легированной хромом, кремнием, марганцем с добавлением молибдена и бора.
Слитки нагревали в камерной печидо температуры значительно превышающей температуру начала аустенитизации. Далее осуществляли контролируемую прокатку с завершением деформации в аустенитной области на реверсивном стане «ДУО-300». Полученные раскаты (полосы) охлаждалиускоренно.Затем проводили термическую обработку проката по технологии: закалка и последующий отпуск.

Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и свойства были проведены на пробах, взятых от изготовленных прокатанных листов.
Из образцов проб были изготовлены шлифы для анализа микроструктуры и размера зерна, темплеты для измерения микротвёрдости, цилиндрические образцы для проведения испытаний на растяжениеи образцы для проведения испытаний на ударный изгиб.
Результаты проведенных обработок и исследований:
–определены четыреобласти различной морфологии зерен в зависимости от температуры нагрева под закалку: область вытянутых зерен, область смешанных зерен, область равноосных зерен иобласть разнозернистости.
Наличие таких областей характерно и связано с протеканием процесса рекристаллизации металла после пластической деформации. Полученные данные по изменению микроструктуры позволили определить температуру начала рекристаллизации металла в зависимости от степени обжатия при прокатке и температуры нагрева проката под закалку.
– исследовано влияние температуры закалки на размер равноосного зерна проката исследуемой стали. Определены оптимальные температуры нагрева под закалку, обеспечивающие образование наиболее мелкозернистой структуры металла;
–исследовано изменение механических свойств проката в зависимости от температуры нагрева под закалку. Установлен оптимальный режим термической обработки, обеспечивающий мелкозернистую структуру, высокую ударную вязкость при отрицательных температурах при сохранении прочностных характеристик на требуемом уровне.

Литература
1.*Полецков П.П., Гущина М.С., Бережная Г.А., Алексеев Д.Ю., Набатчиков Д.Г.* Исследование влияния режимов термической обработки на механические свойства высокопрочного листового проката // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. - № 4. - С.88 – 92.
2.*Никитин В.Н., Шлямнев А.П., Никитин М.В., Панкова М.Н.* Новый подход к разработке высокопрочных конструкционных сталей с временным сопротивлением 1350 МПа и более // Металлург. - 2011. - №3. - С.43 – 47.
3. *Смирнов М.А.* Основы термической обработки стали: учебное пособие / М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 496 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ С РЕЗЬБОЙ ИЗ СТАЛЕЙ ХИМИКОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ

Тянь Цзинхуа

Магистр 1 года
Кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Химико-термическая обработка является одним из наиболее эффективных и широко применяемых в промышленности методов повышения надежности и долговечности ответственных деталей машин, инструмента и технологической оснастки. Химико-термическая обработка – нагрев и выдержка металлических(а в ряде случаев и неметаллических) материалов при высоких температурах в химических активных средах(твердых, жидких или газообразных).
При нитроцементации поверхность стали насыщается в газовой атмосфере углеродом и азотом. Нитроцементованный слой образуется в результате одновременной диффузии углерода и азота в аустените. Большинство деталей нитроцементуется при температурах выше 800, чаще всего при 840…860°С. Нитроцементованный слой, образующийся при этих температурах по

существу аналогичен цементованному слою. Желательные механические свойства получаются за счет охлаждения его с температуры нитроцементации с такой скоростью, при которой достигается превращение углеродисто-азотистого аустенита в мартенсит.
Использование свойств поверхностного слоя, содержащего соединения железа с углеродом и азотом, до сих пор находится еще в зачаточном состоянии. Главное экономическое значение в настоящее время имеет нитроцементация при температуре выше 800, применяемая наряду с цементацией для обработки сильно нагруженных деталей, особенно зубчатых колес.
Материал исследования является деталью с резьбой из сталей химикотермической обработкой при нитроцементации. Мы должны исследовать производительность детали, образующийся при нитроцементации при температуре выше 800 °C. Мы используем микроскоп, чтобы исследовать микроструктуры и дюрометр чтобы исследовать микротвердость. После измерения образца, мы обнаружили, что производительность детали были значительно улучшены и получили более высокую твердость поверхности.
Стальной поверхности можно получить более высокую твердость, износостойкость и усталость после химико-термической обработки. Соответствующей химико-термической обработки также может сделать стальную поверхность, обладающую меньшим трение, устойчивость к коррозии и другие специальные свойства.

Литература

1.Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А. Теорея и технология химикотермической обработки.—М.: Машиностроение, 2010. — 7 с.

2. Вязинков Н.Ф., Криулин А.В., Головин Г.Ф. Нитроцементация.—М.: Машиностроение, 1969.—20 с.

УДК 621.785.5

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Татьяна Петровна Игнатьева

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е.Смирнов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время титановые сплавы занимают важное место среди конструкционных материалов. Уникальное сочетание физических, механических и технологических свойств сплавов на основе титана делает их незаменимыми для различных отраслей машиностроения; высокая биологическая совместимость и высокая коррозионная стойкость обуславливают их широкое использование в медицине. Но отрицательные свойства титановых сплавов – невысокая износостойкость, склонность к налипанию – затрудняют их применение.
Диффузионное насыщение (азотом, кислородом, углеродом и др.) позволяет повысить триботехнические характеристики поверхности сплавов на основе титана, а также увеличить их коррозионную стойкость.
Для исследования микроструктуры и свойств титановых сплавов в исходном состоянии и после насыщения, определения параметров диффузионных слоев (твердость поверхности, распределение микротвердости, толщина газонасыщенного слоя) проведенасерия экспериментов по азотированию и оксидированию сплавов ВТ3-1, ВТ6, ВТ20, ВТ22 при

различных значениях технологических параметров (состав насыщающей среды, время выдержки).

Результаты металлографического анализа (рис. 1) исследуемых сплавов после азотированиясвидетельствуют, что наилучшей способностью к насыщению азотом обладает сплав ВТ6. В сравнении со всеми рассматриваемыми титановыми сплавами он имеет наибольшую толщину диффузионного слоя.

При оксидировании сплавов на основе титана происходит образование твердого износостойкого слоя, состоящего из двух зон (рис. 2): слоя оксидов титана типа TiO_2 со структурой рутила (толщиной 3…7 мкм) и газонасыщенного слоя, представляющего собой твердый раствор внедрения кислорода в титане (толщиной 20-70 мкм).

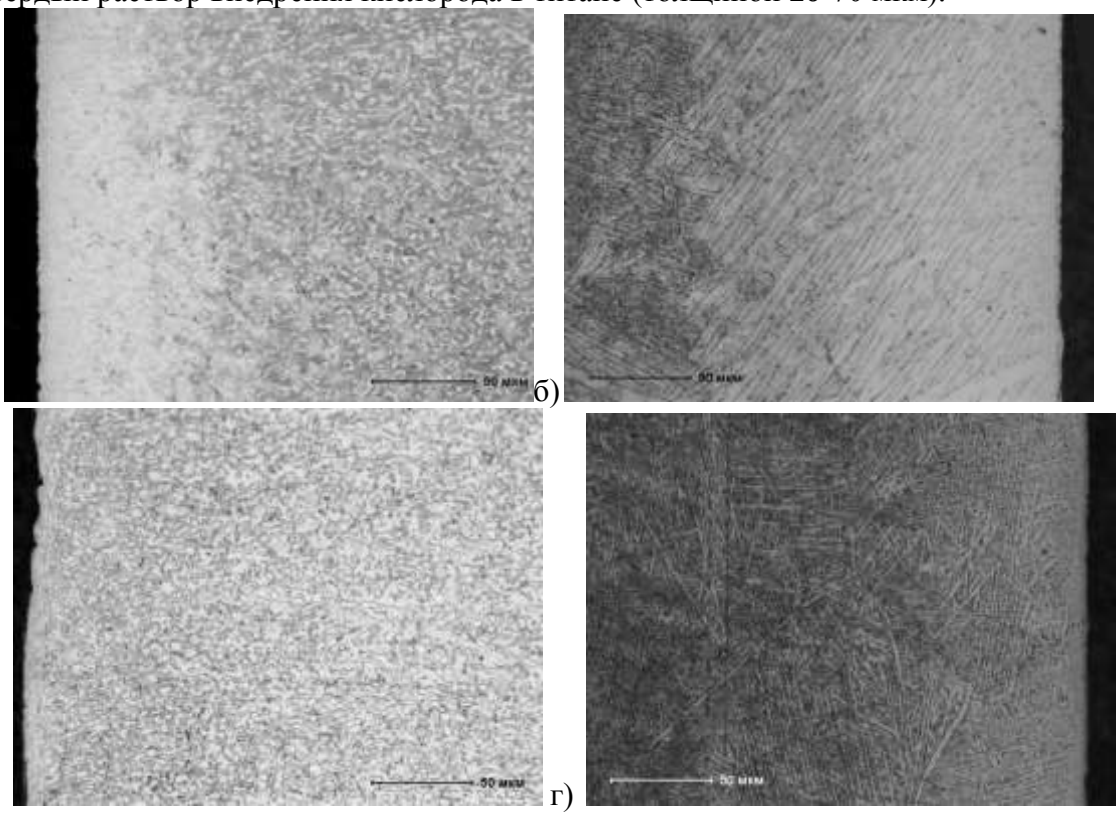


Рис. 1. Структуры титановых сплавов после азотирования при давлении 42 мм рт. ст. и выдержке 30 ч, х500: а) ВТ3-1; б) ВТ6; в) ВТ20; г) ВТ22

После химико-термической обработки при всех анализируемых режимах насыщения исследуемым сплавам свойственно уменьшающееся от поверхности значение микротвердости (рис. 3).Увеличение времени выдержки значительно интенсифицирует процесс газонасыщения.

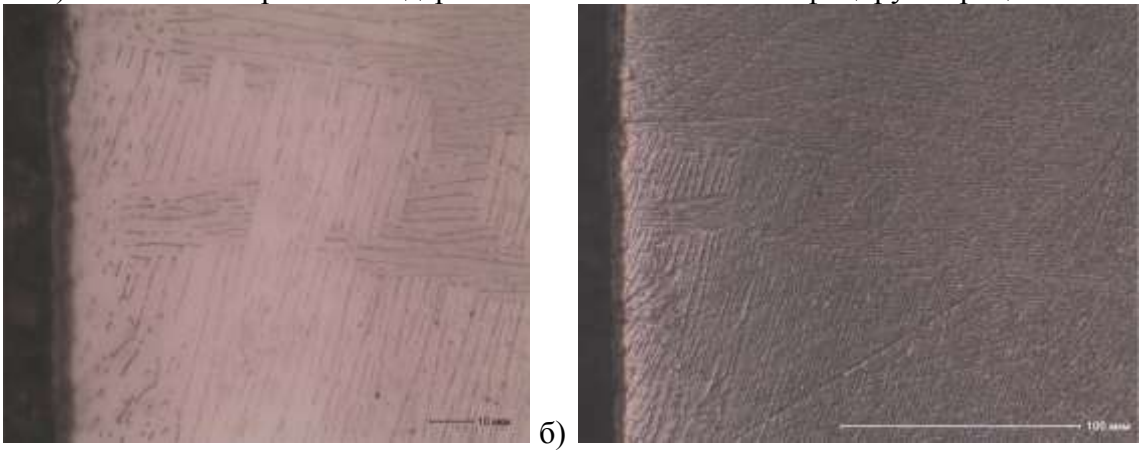
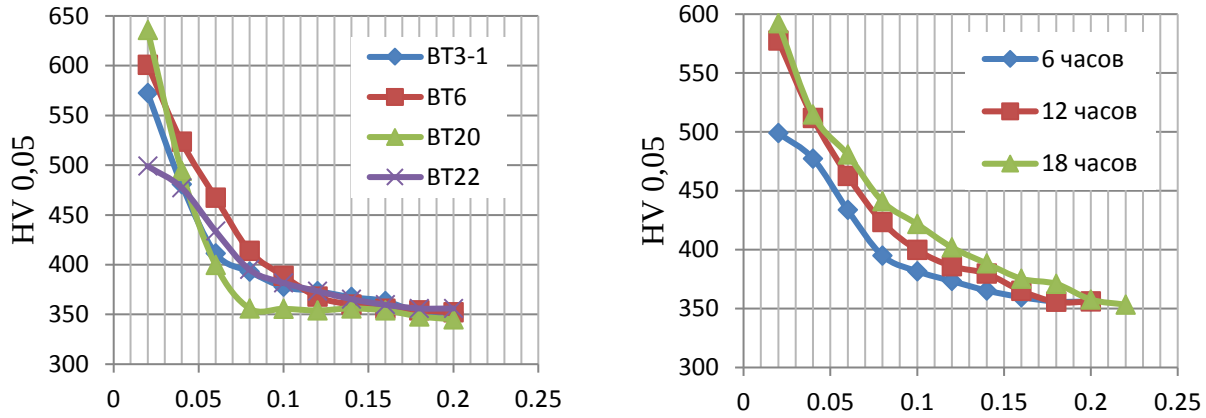


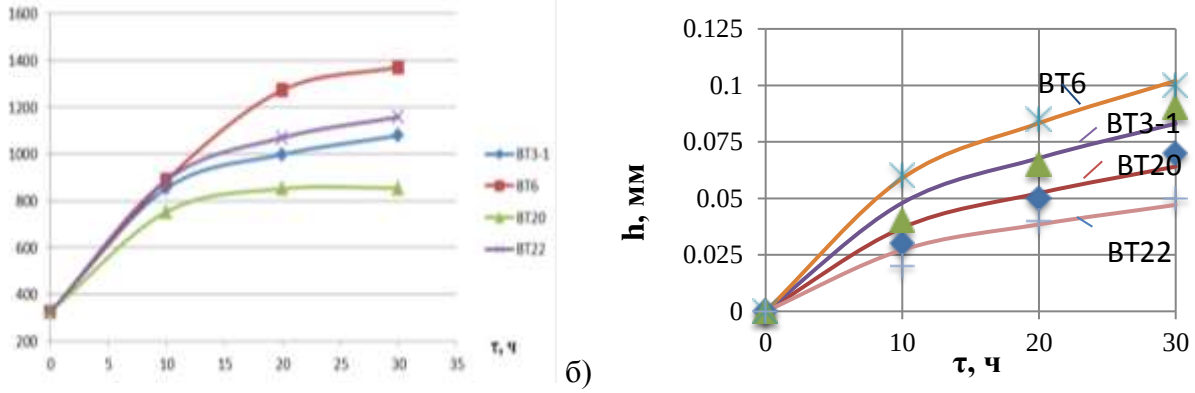
Рис. 2. Структуры сплава ВТ6 после оксидирования, выдержка 18 ч: а) х1000; б) дифференциальный интерференционный контраст (ДИК), х500



а) б)

Рис. 3. Распределения микротвердости по толщине диффузионных слоев после оксидирования: а) выдержка 6 ч; б) сплав ВТ22

Лимитирующей стадией при азотировании титановых сплавов является диффузионная, что подтверждается параболической зависимостью параметров диффузионных слоев от времени насыщения (рис. 4).



а) б)

Рис. 4. Влияние коэффициента β-стабилизации K_β (2 мм рт. ст., N_2):
а) на кинетику микротвердости поверхности; б) на кинетику роста диффузионного слоя

Анализ полученных результатов дал возможность сравнить способность к диффузионному насыщению исследуемых сплавов. Отличительной особенностью оксидированных слоев является их разделение на внешний слой оксидов титана и внутренний диффузионный слой. После азотирования и оксидирования сплавам на основе титана свойственно уменьшающееся от поверхности значение микротвердости. Увеличение давления технологической среды способствует интенсификации процесса диффузионного насыщения титановых сплавов при азотировании. Получена параболическая зависимость параметров диффузионных слоев (толщина газонасыщенного слоя, твердость поверхности) от времени насыщения азотом.

Литература

1. *Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства.Справочник. – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. - 520 с.
2. *Цвиккер У.* Титан и его сплавы. - М.: Металлургия, 1979. – 512с.
3. *Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: МИСИС, 1999. - 416 с.

4. *Чечулин Б. Б.* Термическая обработка в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1980. - 783 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ

Йе Чжо У

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин связаны с необходимостью повышения их надежности, которая в значительной степени определяется эксплуатационными свойствами отдельных деталей. Большими потенциальными возможностями улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин обладает электромеханическая обработка (ЭМО). ЭМО является особым способом контактной обработки поверхностей высококонцентрированным источником электрической энергии, объединяющим в единой технологической схеме силовое и термическое воздействие инструмента на деталь, что позволяет формировать уникальные свойства поверхностного слоя деталей. В настоящее время разработано большое количество разновидностей электромеханической обработки, представляющие собой комбинацию различных высокоэнергетических воздействий на поверхность обрабатываемой детали, комбинация потоков энергии и вещества в процессе обработки обеспечивает условия, ведущие к стабилизации неравновесных процессов, основой которых является поверхностное пластическое деформирование в условиях трения скольжения при одновременном пропускании электрического тока через зону контакта детали и инструмента. Достаточно полной классификации разновидностей электромеханической обработки, комбинированных методов обработки в основе которых лежит ЭМО не существует, что создает определенные трудности при разработке технологических процессов изготовления деталей с поверхностным упрочнением, в распределении методов обработки по точности формирования поверхности в зависимости от мощности источников воздействия, в создании поверхностных слоев с определенными, наперед заданными или закономерно-изменяющимися, параметрами качества поверхностного слоя. Комбинированные методы обработки на основе ЭМО, как комплексные технологии упрочнения энергией взрыва с последующей ЭМО (УВ + ЭМО), магнитно-импульсной обработкой с последующей ЭМО (МИ + ЭМО), лазерная обработка
с последующей ЭМО (ЛО + ЭМО), объемная термическая обработка с последующей ЭМО (ТО + ЭМО) [1].Основные направления применения способа: электромеханическая поверхностная закалка (ЭМПЗ), отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка (ОУЭМО), упрочняющее электромеханическое восстановление (УЭМВ), подготовка поверхности под напыление порошковых материалов и другие.

ЭМПЗ применяется вместо объемной закалки в печах, закалки токами высокой частоты (ТВЧ), цементации и нитроцементации. Закалке подвергаются среднеуглеродистые (сталь 45, 40Х, твердость 54…62 HRC, глубина 0,02-…2 мм). ЭМПЗ подразделяется на способы, требующие последующей механической обработки (гладкие поверхности), и способы, при которых поверхностная закалка является окончательной обработкой (резьба, шпоночные пазы, зубчатые колеса, плоскости, отверстия). ОУЭМО основана на соединении в единой технологической схеме эффекта поверхностного пластического деформирования и поверхностной закалки (сталь 45, твердость до 64 HRC, глубина 0,02…0,3 мм) с получением специфичной структуры и текстуры волокон металла, микрогеометрии (параметр шероховатости Ra составляет 1,25…0,63

мкм) с высокими физико-механическими свойствами исполнительных участков деталей. ОУЭМО используется как заключительная обработка поверхностей и позволяет за один ход инструмента получить градиентный слой высокой твердости и оптимальной шероховатости, заменяя при этом две операции: закалку и шлифование. Не менее актуально это направление при обработке посадочных мест валов (в том числе коленчатых) под подшипники качения и скольжения. ОУЭМО подвергаются гладкие цилиндрические и плоские поверхности, резьбы, отверстия, галтели [2-4].

Структура зависит в большой степени от исходной термической обработки и способа получения заготовки. Важное место в повышении долговечности широкого класса деталей машин отводится качеству металла не всего сечения изделия, а структурному состоянию и физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Именно поверхностный слой во многом определяет износостойкость, сопротивление усталостному разрушению, контактную выносливость, коррозионную стойкость и другие важные свойства [5].

Рис. 1. Структура стали 55ПП после электромеханической обработки

После электромеханической обработки структуру образца можно различить лишь тогда, когда разные его участки по-разному отражают, преломляют или пропускают свет. Эти свойства обуславливают разницу амплитуд и фаз световых волн, отразившихся от различных участков поверхности, от чего, в свою очередь, зависит контрастность изображения. Поэтому методы наблюдения в микроскопии выбираются (и обеспечиваются конструктивно) в зависимости от характера и свойств изучаемых объектов. Объекты исследования в материалографии зачастую являются настолько сложными в структурном отношении, что бывает трудно заранее определить, какая методика анализа (способ освещения) является оптимальной. Даже квалифицированный исследователь нередко вынужден пробовать вслепую различные способы освещения и фильтры для получения наилучшего изображения структуры. Поэтому важно показать видоизменение изображения структуры материала при использовании светлого поля, темного поля, поляризованного света, чтобы продемонстрировать возможности анализа. В общем, исходя из нашего опыта применения различных методик, наиболее информативными в исследовании материалов являются методы темного и светлого поля. Методы анализа на основе поляризованного света применяются несколько реже, но и им находится достойное место [5].

Литература

1. *Эдигаров В.Р., Килунин И.Ю., Дегтярь В.В*. ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ» филиал, Омск, Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения, *e-mail: edigarovs@mail.ru*

2. *Федорова Л.В., Морозов А.В., Фрилинг В.А.* Исследование влияния содержания углерода на микротвердость при избирательной электромеханической закалке трибонагруженного участка отверстия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2012. – № 3. – С. 9-14.
3. *Федоров С.К., Федорова Л.В., Сараев В.Т., Клюев Ф.К.* Применение технологии электромеханической обработки в ремонтном производстве ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод». Научно-технический вестник НК Роснефть. 2010. – №4-с.44-47.
4. *Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Сидоренко В.В.* Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка стали 8620 // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2016. - №8, С. 39-43.
5. *Анисович А. Г.* Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева. - Минск: Беларус. навука, 2013. - 221 с.

УДК 621.77.01

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕЙ

Вероника Евгеньевна Кабанцева

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научные руководители: А.И.Плохих,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»
М.Д. Сафонов,
аспирант кафедры «Материаловедение»

Создание перспективных образцов современной техники требует использования комплексного подхода, в основе которого должно находиться использование материалов нового класса, способные самостоятельно адаптироваться и формоизменяться в зависимости от внешних воздействий. Такими воздействиями, которые приводят к резкому изменению одной или нескольких физических или физико-химических характеристик, является температура, давление, влажность, pH окружающей среды, магнитное или электрические поля и ряд других факторов. Эти изменения «вынуждают» материал и конструкцию в целом в динамическом режиме подстраиваться к внешним условиям и регулировать собственный отклик для получения оптимальных эксплуатационных характеристик. Поэтому такие интеллектуальные материалы, обладающие уникальными физико-механическими характеристиками, могут стать важным фактором при создании высокоэффективных технических систем.

В настоящее время интенсивные научные исследования и разработки материаловедов направлены на создание методов повышения эксплуатационных характеристик традиционных материалов путем реализации в них специального вида структур. Подобные структуры, обладая нелинейными и аномальными деформационными или тепловыми характеристиками, способны адаптивно реагировать на внешнее воздействие. Такие эффекты обычно наблюдаются в композиционных материалах и являются результатом взаимодействия локальных микроскопических полей упругих напряжений, что не встречается в материалах с однородной структурой.

Изучением теоретических аспектов создания таких композиционных материалов занимались многие исследователи, что стало результатом обнаружения ряда интересных эффектов в

композитах, а также привело к активизации работ по поиску материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона и термическим коэффициентом линейного расширения [1-7].

Известные аномалии в тепловом расширении инварных сплавов на основе Fe-Ni объясняются ферромагнитными причинами, имеющими значительные стрикционные эффекты при протекании парапроцесса. При этом термострикция может иметь столь значимые величины, что с избытком может перекрывать «нормальное» тепловое расширение и вызывать большие по величине отрицательные коэффициенты теплового расширения. Однако для промышленных инварных сплавов характерным является достаточно узкий температурный интервал проявления объемной аномалии, верхняя граница которого обычно не превышает температуру 200 ºС, что обусловлено низким положением точки Кюри этих сплавов.

Поэтому актуальной является задачаувеличения интервала существования инварногоэффекта в металлических материалах, работающих в условиях повышенных температур, ударных, знакопеременных нагрузок и пр., что позволит значительно улучшить технические характеристики изделий новой техники.

К настоящему времени известны теоретические работы по созданию математических моделей материалов со слоистым строением на основе бинарных композиций иридий+инвар, тефлон+гетинакс и тройной композиции иридий+вольфрам+инвар [7]. Однако вопросы технологической совместимости и обеспечения неразрывной связи между слоями, которая собственно и обеспечивает проявление указанного эффекта, в этих работах рассмотрены не были. Поэтому, исследование модельных композиций многослойных материалов, полученных на основе сталей, является интересным, как с практической точки зрения, так и с технологической точки зрения.

В работе представлены результаты исследования ТКЛР в многослойных металлических материалах модельной композиции 08кп+08Х18Н10. Разработанная рабочая модельотражает сложную взаимосвязь разнородных напряжений, возникающих на межслойных границах такого материала. Это подтверждается необычно сильным влиянием, которое оказывают нормальные напряжения сжатия на ту составляющую многослойного материала, которая претерпевает $\alpha \rightarrow \gamma$ переход в процессе нагрева.

Литература

1. *A. Bensoussan, J.-L. Lions and G.C. Papanicolaou,* Asymptotic Analysis forPeriodicStructures. - North Holland, Amsterdam, 1978.

2. *E. Sanchez-Palencia,* Nonhomogeneous Media and Vibration Theory // Lecture Notes inPhysics 127.- 1980.

3. *Almgren R.F.* An isotropic three-dimensional structure with Poisson’s ratio //J. of Elasticity. –1985. - v. 15. - pp. 427-430.

4. *Колпаков А.Г.* К определению усредненных характеристик упругих каркасов // Прикладная математика и механика. – 1985. - т. 99, вып. 6. - с. 969-977.

5. *Конек Д.А., Войцеховски К.В., Плескачевский Ю.М., Шилько С.В.* Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2004. – Т. 10. - № 1. - с.35.69.

6. *Колпаков А.Г., Ракин С.И.* Деформационные характеристики слоистых композитов при нелинейных деформациях//Журнал ПМТФ. – 2004. -№ 5. - с. 157-166.

7. *Колпаков А.Г., Ракин С.И.* К задаче синтеза композиционного материала одномерного строения с заданными характеристиками // Прикладная механика и техническая физика. – 1986. - № 6. - с 143-150.

УДК 669.7.018

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-SC

Александра Михайловна Карпенко

Студентка 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,

Алюминиевые сплавы используются практический во всех отраслях машиностроения. Их применяют в строительных конструкциях, судостроении, железнодорожном и автомобильном транспорте, летательных аппаратах, нефтяном и химическом машиностроении, электротехнике и т. д.

Алюминий кристаллизуется в гранецентрированную решетку с периодом а = 0,4041 нм, не имеет полиморфных превращений, обладает малой плотностью (2,7 г/см^3), низкой температурой плавления (660°С), высокой электро- и теплопроводностью, низкой прочностью ($\sigma_в$ =100 МПа) и высокой пластичностью, а также высокой коррозионной стойкостью, обусловленной образованием на его поверхности тонкой, но плотной пленки оксида Al_2O_3, предохраняющей металл от дальнейшего окисления.

Скандий является самым эффективным модификатором для сплавов на алюминиевой основе.Открытие такого модификатора алюминиевых сплавов позволило повысить прочность, термическую стабильность и устойчивость к межзеренному разрушению. Добавление скандия в десятых долях процента позволяет создавать однородную мелкозернистую структуру сплава с величиной интерметаллидных зерен не более 40…50 мкм [1].

Малые объемы производства скандия, а также его высокая цена являются значительными препятствиями для широко применения этих сплавов в технике. Применение скандия в качестве легирующего элемента возможно только при достижении высокой степени чистоты в солях (99,0…99,99%).

Для усиления действия скандия, его вводят в сплав вместе с цирконием.При легировании алюминия скандием совместно с цирконием происходят стабилизирующие и усиливающие процессы. Дисперсные частицы интерметаллида Al_3(Sc, Zr) начинают выделяться из пересыщенного твердого раствора матрицы. Выделившиеся интерметаллиды характеризуются высокой плотностью в матрице, а также размером 10 - 20 нм. Из-за термической нестабильности дисперсных частиц Al_3Sc, при технологическом нагреве они начинают быстро расти и коагулироваться в объеме матрицы. Количество частиц в объеме алюминиевой матриц начинает уменьшаться, тем самым вызывая разупрочнение твердого раствора. Добавления в алюминий циркония совместо со скандием позваляет снизить матастабильность дисперсионных частиц. В результате цирконий в процессе кристаллизации слитка входит в пересыщенный твердый раствор, образуя твердый раствор замещения в соединении Al_3Sc. Интерметаллид Al_3(Sc, Zr) более термически стабильный и в меньшей степени склонен к укрупнению зерна, чем Al_3Sc. Дисперсионное упрочнение эффективно тормозит процессы рекристаллизации при горячей обработке давлением и при закалке, препятствуя процессу полигонизации в твердом растворе. Данный процесс в алюминиевых сплавах, легированных скандием и цирконием, наблюдается не только при горячей деформации, но и при значительных степенях обжатия (70 - 90%) при холодной деформации с последующим нагревом под отжиг или закалку.Использование дислокационного механизма упрочнения в алюминиевых сплавах в совокупности с частицами Al_3(Sc, Zr) приводит к значительному повышению прочности.

Стоит отметить, что значительное упрочнение сплава дисперсионными частицами Al_3(Sc, Zr) достигается при оптимальной степени распада твердого раствора. Проведенные исследования

механических свойствпри растяжении показало, что после холодной пластической деформации наблюдается существенное повышение характеристик пластичности, с одновременным снижением значений прочности исследованных сплавоввне зависимости от направления проката. При этом было установлено, что дополнительная разупрочняющая термическая обработка не оказывает влияния наисследуемые характеристики сплавов.

Литература

1. *В.А. Елагин, В.В. Захаров, Т.Д. Рогова.* Перспективы легирования алюминиевых сплавов скандием // Цветные металлы. – 1982. - № 12. - с. 234-236.
2.MineralCommoditySummaries. 1990, p. 148-149.
3. MineralYearsbook. 1988, p. 10-12.
4. *В.В. Захаров, Т.Д. Ростова.*Упрочнение алюминиевых сплавов при легировании их скандием // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2013. - №12. - с. 24-29.
5. *А.П. Мухачев, Е.А. Харитонова, Д.Г. Скипочка*. Скандий и его сплавы с алюминием// ВАНТ. - 2016. - №1. - с. 45-50.
6. *Скачков В.М.* Химическое легирование скандием, цирконием и гафнием сплавов на основе алюминия: автореф. дис. … канд. Хим. наук (02.00.04). - Екатеринбург, 2013. – 19 с.

УДК 621.785.53

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ СИСТЕМЫ NI-CO-CR-W

Ольга Юрьевна Козлова

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.В. Овсепян,
кандидат технических наук, начальник лаборатории «Жаропрочные сплавы на никелевой основе» ФГУП «ВИАМ»
А.С. Помельникова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Известно, что для производства узлов высокотемпературной зоны современных ГТД, в том числе жаровых труб, применяются свариваемые деформируемые сплавы на никелевой и никель-кобальтовой основах, работоспособные до температуры 1100ºС.
Во ФГУП «ВИАМ» разработаны жаропрочные свариваемые никелевые сплавы, упрочняемые нитридами титана в процессе химико-термической обработки (ХТО) – высокотемпературного азотирования. Наиболее высокие значения жаропрочности обеспечивает сплав на никель-кобальт-хромовой основе – ВЖ171 [1],рабочая температура которого достигает 1250ºС. Однако, экспериментальными работами [2] установлено, что предел упрочнения стабильными нитридами не достигнут. В настоящее время исследования проводятся в направлении выбора легирующих элементов сплава на никель-кобальт-хромовой основе и оптимизации режима высокотемпературного азотирования.
Целью настоящей работы является исследование кинетики формирования упрочняющих фаз в процессе высокотемпературного азотирования. ХТО подвергались образцы листового проката толщиной 1,1-1,3 мм пяти экспериментальных составов, выбранных исходя из химического состава сплава ВЖ171, литературных данных о процессе диффузии в атмосфере азота [3] и

опыта изготовления жаропрочных деформируемых никелевых сплавов: основа Ni-Co-Cr и добавки (масс.):
12%Mo, 2%Ti
3.8%Mo, 7.2%W, 2%Ti
8%W, 2%Ti, 4%Ta
1%Mo, 10%W, 3%Ti, 0.2%C
1%Mo, 10%W, 1.3%Ti, 0.7%Zr

Режим азотирования для всех сплавов выбран по типу сплава ВЖ171: температура азотирования на 150-200ºС ниже температуры начала плавления сплава, время выдержки изменялось от 10 до 40 ч.
Было установлено, что при этом режиме для листа толщиной 1,2 мм из сплава ВЖ171 азотирование проходит по всему объему за 20 ч, и достигаются наиболее высокие свойства материала. Увеличение времени выдержки нецелесообразно, так как приводит к небольшому увеличению прочности, но резкому снижению жаропрочности и пластичности.
На рисунке 1 представлена кинетика азотирования пяти экспериментальных составов.

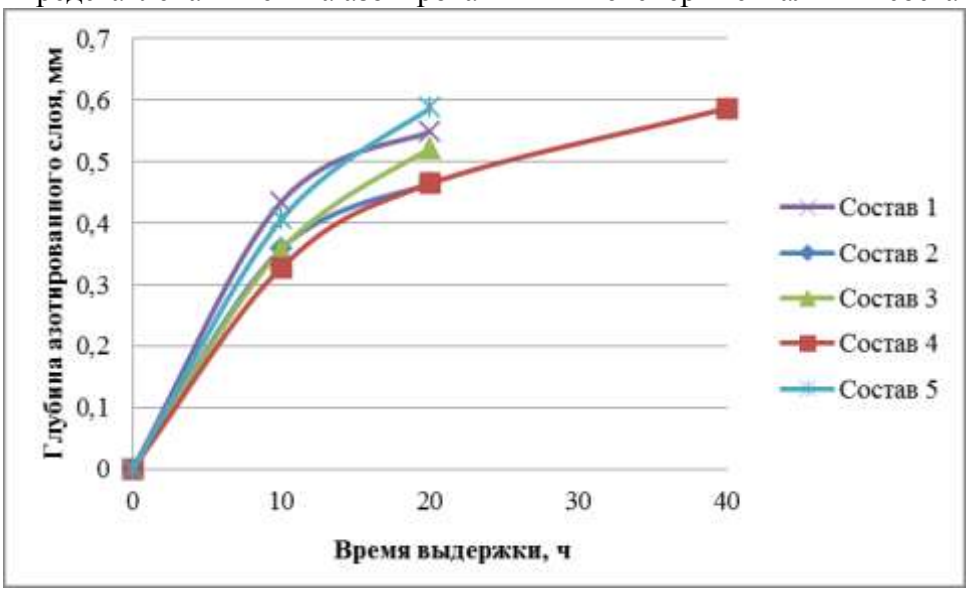


Рисунок 1 – Кинетика азотирования

Как видно из рисунка 1, в составах 1, 2, 3 и 5 азотирование прошло на всю толщину листа за 20 ч выдержки в атмосфере азота (толщина листов состава 1 – 1,1 мм; остальных – 1,2 мм). В составе 4 азотирование прошло полностью после выдержки в течение 40 ч (толщина листа 1,3 мм). По-видимому, это связано с большим содержанием углеродав данном сплаве, который затрудняет процесс диффузии азота вглубь образца.
Анализ результатов МРСА после высокотемпературного азотирования в течение 40 ч показал, что в спектрах, полученных от матрицы образцов, во всех экспериментальных составах наблюдаются пики Ni, Co и Cr, а также нитриды. На отдельных элементах структуры заметно возрастает процентное содержание легирующих элементов (по сравнению с исходным). В составе 1 содержание Tiувеличивается до 17%, в составе 2 – до 24%. В составе 3 содержание Tiвозрастает до 16%, а в сердцевине – до 57%. В составе 4, с повышенным содержанием углерода, образуются карбиды, равномерно распределенные по всей толщине листа, которые упрочняют материал. В составе 7 обнаружено увеличение содержания Zrдо 49%. Также во всех сплавах в отдельных элементах обнаружен N, содержание которого меняется от 7 до 19%.
Исследование кинетики высокотемпературного азотирования позволяет спрогнозировать время, необходимое для сквозного азотирования образцов и деталей различной толщины.

Литература
Пат. 2283361 Российская Федерация, МПК С 22 С 19/07. Жаропрочный сплав на основе кобальта и изделие, выполненное из него/ Латышев В.Б., Каблов Е.Н., Моисеев С.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" – 2005108305/02; заявлено 24.03.2005; опубликовано 10.09.2006 – 1 с.
Овсепян С.В., Ахмедзянов М.В., Мазалов И.С., Расторгуева О.И. Легирование углеродом сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti, упрочняемого химико-термической обработкой// Авиационные материалы и технологии. 2015. № 4 (37). С. 21–24
Петрова, Л.Г. Высокотемпературное азотирование жаропрочных сплавов// МиТОМ №1, 2004. С. 18-25

УДК 621.77.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ПЕРВОГО ЦИКЛА ПАКЕТНОЙ ПРОКАТКИ

Александра Олеговна Константинова

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

результате проведенных ранее исследований, были получены данные о структуре и свойствах металлических многослойных материалов на основе двух модельных алюминиевых сплавов АМг6 и АМц, которые не имеют взаимной растворимости друг в друге и не образуют интерметаллических соединений. Эти исследования показали, что после первого цикла пакетной прокатки, параметры которой были подобраны, исходя из анализа кривых деформационного упрочнения выбранных сплавов [1] (рис. 1) , структура остается ламинарной при толщине листа 10 мм, чего и требовалось достигнуть (рис. 2). Первый цикл пакетной прокатки был проведен при температуре 400ºС.

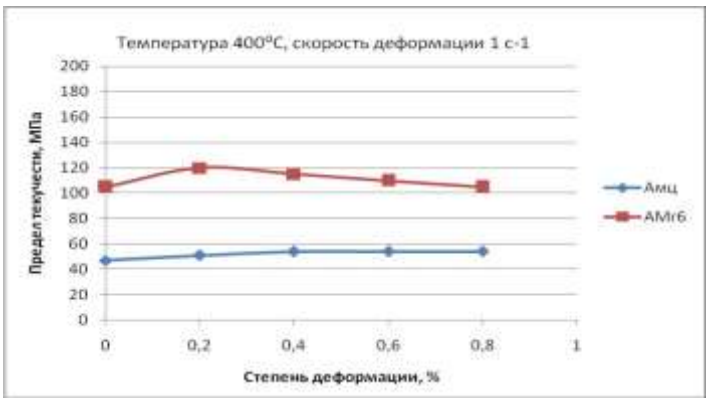


Рис. 1. Кривые деформационного упрочнения сплавов АМг6 и АМц

Рис.2. Микроструктура многослойного материала (АМг6+АМц),×250

При дальнейшем исследовании после первого цикла пакетной прокатки была проведена докатка в холодном состоянии до толщины 1 мм и были проанализированы полученные результаты, которые показали, что слоистая структура также сохраняется, но на поверхности шлифов образуется плотная пленка окислов, что препятствует дальнейшим исследования (рис. 3) .

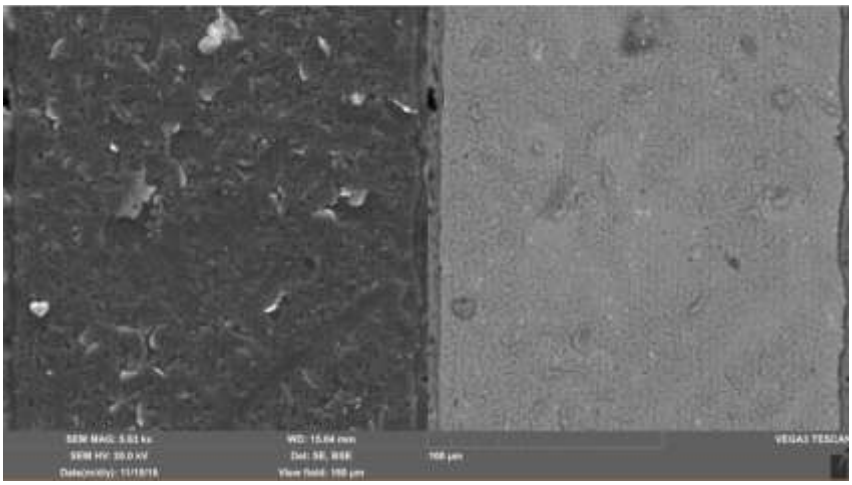


Рис.3. Оксидная пленка на поверхности шлифа

Литература

*1. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М.*Сопротивление пластической деформации металлов исплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1976. – 488 с.

УДК 620.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23М

Виктория Александровна Крохина

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.А. Ночовная,
доктор технических наук, начальник лаборатории титановых сплавов ФГУП «ВИАМ»

Высокая прочность, относительно низкая плотность, а также способность сопротивляться воздействию климатических факторов делает высокопрочный титановый сплав ВТ23М перспективным для изготовления деталей, работающих в условиях арктического климата. В процессе эксплуатации таких изделий абразивное изнашивание является одной из основных составляющих износа. Титановые сплавы, обладая высокой коррозионной стойкостью, имеют, как правило, низкую износостойкость и требуют нанесения защитных покрытий [1, 2].

Для оценки эффективности различных методов повышения износостойкости поверхности были исследованы дисковые образцы из титанового сплава ВТ23М после режимов термической обработки: двойной отжиг, закалка и старение, отжиг, а также с покрытиями – анодно-оксидное, карбид вольфрама, нитрид титана.

Анодно-оксидное покрытие, полученное импульсным методом, повышает твердость поверхности, способствует повышению смачиваемости и, как следствие, удержанию смазочного материала, не снижает чистоту поверхности и не оказывает неблагоприятного влияния на механические свойства титановых сплавов. Покрытие WC+Co наносилось детонационным методом. Благодаря карбидам вольфрама, хрома и кобальта обеспечивается коррозионная стойкость, а благодаря металлическим составляющим – прочность и вязкость разрушения. Покрытие нитрида титана получено методом ионно-плазменного напыления. Микроструктура образцов с покрытиями представлена на рисунке 1.

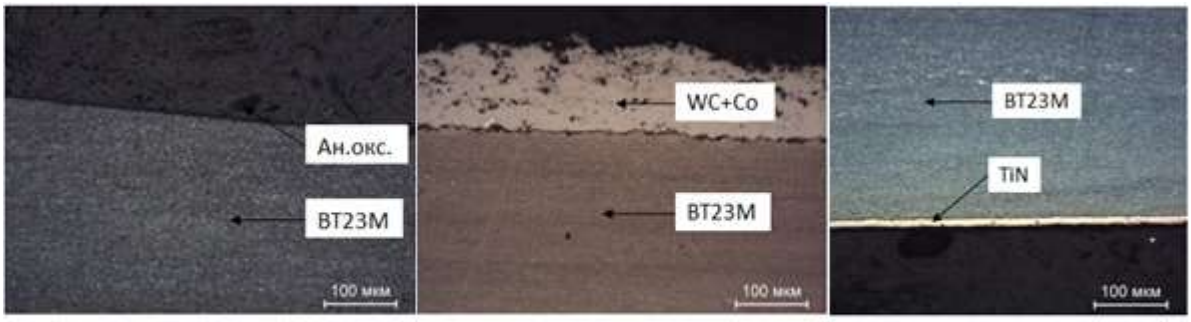


Рис. 1. Микроструктура образцов титанового сплава ВТ23М: 1 – с анодно-оксидным покрытием, 2 –с покрытием WC+Co, 3 – с покрытием TiN (×20)

Испытания на определение линейного износа проводились в течение 500 секунд, при температуре +20°С, шарик из карбида вольфрама Ø 4 мм, нагрузка – 2,72 Н, скорость – 1 м/с. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Линейный износ дисковых образцов из сплава ВТ23М

№	Материал	Коэффициент трения	Средний линейный износ (по 5 измерениям профилометра), мкм (при Т, °С)			Среднее значение
			Дорожка №1	Дорожка №2	Дорожка №3	
1	ВТ23М - двойной отжиг	0,16	11	9	10	10
2	ВТ23М - закалка + старение	0,14	13	11	15	13
3	ВТ23М - отжиг	5,5	17	15	16	16
4	ВТ23М анодное оксидирование	0,68	9	10	11	10
5	ВТ23М + TiN	0,36	1	1	1	1
6	ВТ23М+WC-Co	1,6	1	0,5	1,5	1

Таким образом, по результатам определения линейного износа можно сделать вывод, что после термической обработки наилучшей износостойкостью обладает образец после двойного отжига. Образцы с покрытиями TiNи WC –Сопоказали наилучшие результаты, что касается анодно–оксидного покрытия, то небольшая износостойкость вероятно связана с его пористостью.

Литература

Тарасов, Ю.М, Антипов В.В. Новые материалы ВИАМ – для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» // Авиационные материалы и технологии, - 2012. - №2. – С. 5-7.

*Семенова И.В., Флорианович Г.М., ХорошиловА.В.*Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. –336 с.

УДК 621.77.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ВТОРОГО ЦИКЛА ПРОКАТКИ

София Алексеевна Луцкая

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Д.В. Власова,
ассистент кафедры «Материаловедение»

В результате проведенных ранее исследований были получены данные о структуре и свойствах металлических многослойных материалов на основе титановых сплавов ВТ5-1 и ВТ35 после первого и второго технологических циклов пакетной прокатки. Было замечено снижение ударной вязкости после второго цикла прокатки.

Анализ структуры показал сильное нарушение ламинарного строения материала. Как видно на рис. 1а, в композиции ВТ5-1 + ВТ35 наблюдается образование линзообразных зерен в процессе рекристаллизации. В композиции ВТ14 + ВТ35, как видно на рис. 1б, происходит размытие

границ, что связано с сильной диффузией легирующих элементов между слоями материала. В композиции ВТ14 + ВТ5-1 наблюдается склонность к образованию общих зерен между слоями.

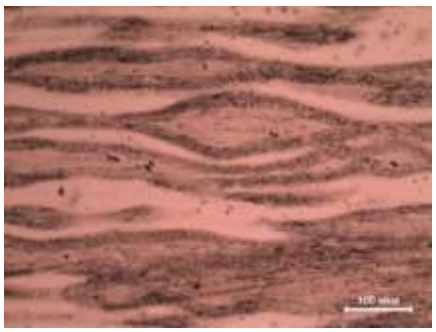
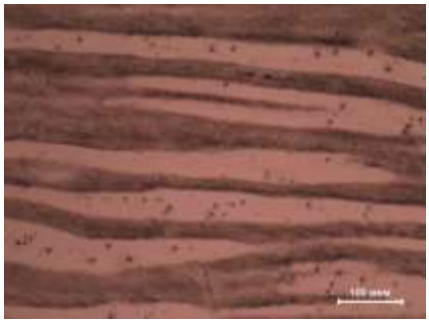
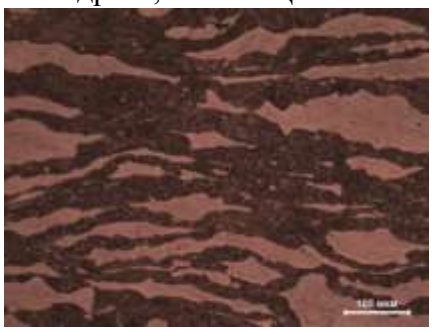
а) б) в)

Рис. 1. Полученные микроструктуры композиций, ×200.
а) ВТ5-1 + ВТ35, б) ВТ14 + ВТ35, в) ВТ14 + ВТ5-1

Было произведено измерение микротвердости для композиции ВТ5-1 + ВТ35 в центре рекристаллизованной области и на границах и выявлено, что темный слой обладает повышенной твердостью в местах около зон, где прошла рекристаллизация, что приводит к охрупчиванию композиционного материала. Это связано с возникновением напряжений и изменением химического состава слоя в связи с началом рекристаллизиционных процессов.
В композиции ВТ14 + ВТ5-1 происходит усреднение значений твердости в общих зернах, что также негативно сказывается на ударной вязкости всего материала.
Послойный химический анализ показал наличие диффузии ванадия из слоя ВТ35 в слои ВТ5-1 и ВТ14. Наиболее сильно диффузия ванадия заметна в композиции ВТ35 + ВТ14. Анализ диаграммы состояния V – Zr показал, что диффузия ванадия может быть объяснена присутствием в сплавах ВТ5-1 и ВТ14 циркония, поскольку эти два элемента обладают химическим сродством.
Сделаны выводы о необходимости проведения разупрочняющей термической обработки после прокатки.

Литература

Колесников А.Г., Шинкарев А.С. Анализ способов измельчения структуры при получении металлических конструкционных материалов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. – №11. – С. 34-44.
Кобелев А.Г. Производство слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышов – М.: Интермет-Инжениринг, 2002. – 496 с.
Плохих А.И. Исследование температурных интервалов фазовых превращений в многослойных металлических материалах / А.И. Плохих, А.А. Минаков, П.П. Андреев, М.В. Щеголихин

// Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – Т. 160, № 5. – С. 125-129.
Massalsky T.B. Binary Alloy Phase Diagrams [2nd Edition] / T.B. Massalsky. – ASM International Metal Park, Ohio, 1990. – p. 140.

УДК 621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Макушина Марина Александровна

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.А. Пахомова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»
Смирнов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

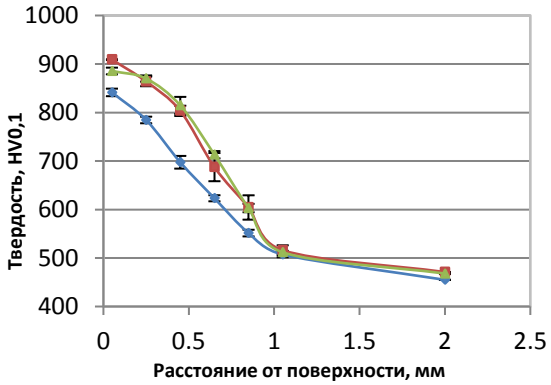
Известно, что вакуумная цементация является передовым способом формирования диффузионных слоев, который используется всё более и более широко в современном машиностроении. Вакуумная цементация в ацетилене, который диссоциирует активно на поверхности стальной детали уже при 900…960°С, обеспечивает высокую равномерность насыщения в глубоких отверстиях. Эти факторы и производство совершенных вакуумных печей, оснащённых системой упрочнения газом низкой деформации, которая хорошо организованной в зарубежных странах, способствуют широкому применению процесс [1, 2].

Для того чтобы обеспечить плавное изменение концентрации углерода в диффузионных слоях, вакуумная цементация обычно выполняется в режиме циклической подачи ацетилена, когда этапы насыщения чередуются с диффузионными этапами с выключенной подачей газа.

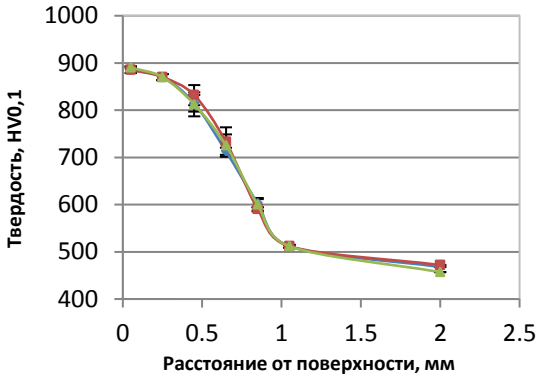
Несмотря на то, что процесс цементации в вакууме контролируется такими факторами, как температура и время, науглероживание в атмосфере низкого давления характеризуется многочисленными вариантами циклических режимов, которые могут быть либо периодическими, либо апериодическим. Экспериментальный поиск этих вариантов является нецелесообразным по экономическим соображениям. Таким образом, наиболее эффективным методом выбора оптимальных технологических факторов является математическое моделирование процесса [3].

Целью работы является проведение статистического анализа равномерности насыщения в тестовой садке образцов из стали 20Х2Н4А. Для этого была проведена термоциклическая обработка образцов, серия измерений микротвердости и статистическая обработка результатов измерений.

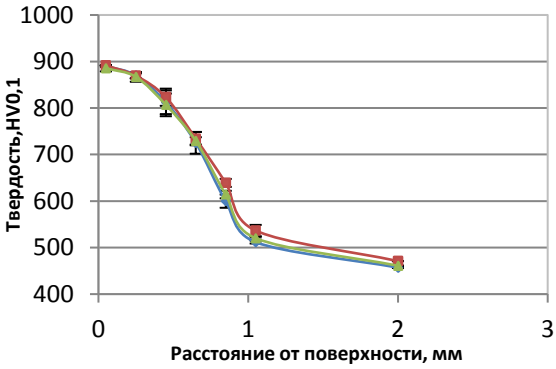
В результате были получено распределениемикротвердостипо толщине образцов тестовой садки, представленное на рисунке 1.



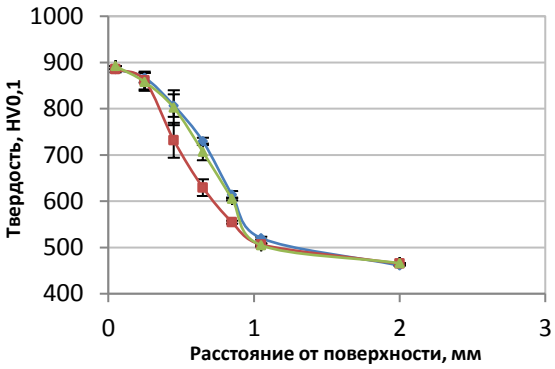
а



б



в



г

Рис. 1. Распределение микротвердости по толщине цементованных слоев стали 20Х2Н4А в тестовой садке,
а – образцы 2-1, 2-2, 2-3; б – образцы 2-3, 2-4, 2-5; в – образцы 2-5, 2-6, 2-7;
г – образцы 2-7, 2-8, 2-9

Проведённый анализ равномерности насыщения показал достаточную равномерность насыщения в тестовой садке (9 образцов). Однако в результате анализа равномерности насыщения были выявлены образцы, отклоняющиеся от среднестатистических данных. Для выявления причин отклонений требуются дополнительные исследования.

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. *Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С., Мулякаев Л.М., Громов В.И.* Особенности вакуумной цементации теплостойкой стали в ацетилене // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2004. - № 6. - С. 10-15.
3. *Семенов М.Ю., Смирнов А.Е., Рыжова М.Ю.* Расчет концентрационных кривых углерода при вакуумной цементации сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2013. - № 1. - С. 38-42.

УДК 536.424.1

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Александра Владимировна Мартынова

Магистр 1 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Возможности высокочувствительных датчиков, микроманипуляторов и других функциональных элементов современных приборов в основном определяются материалами, из которых они изготовлены. В последнее время особый интерес проявляется к изучению функциональных материалов, способных изменять свою форму в процессе термоупругого мартенситного перехода под действием внешних полей. Такое явление называют эффектом памяти формы (ЭПФ) [1].

В последнее время возникает потребность создания материалов, которые были бы способны изменять свою форму под действием других внешних полей в условиях, когда изменение температуры невозможно или нежелательно.

Новые возможности открывают материалы, имеющие различную намагниченность высокотемпературной (аустенитной) и низкотемпературной (мартенситной) фаз. В таком случае температура фазового перехода чувствительна к внешнему магнитному полю. Совместный переход структурной и магнитной подсистем называют магнитоструктурным переходом.

Яркими представителями группы сплавов, проявляющих магнитоструктурный переход, являются сплавы Гейслера – тройные интерметаллические соединения с химической формулой X_2YZ. Наиболее широко известны сплавы Гейслера системы Ni-Mn-X (X – In, Ga, Sn, Sb).

Сплав Ni-Mn-Ga требует приложения очень больших полей, что приводит к затруднению их применения. Возможным альтернативным вариантом может стать сплав Ni-Mn-In, который имеет большую чувствительность, чем сплав с галием.

Данная работа посвящена изучению тонких пленок сплава Гейслера системы Ni-Mn-In, проявляющих эффект памяти формы в магнитном поле, которые могут стать основой для создания нового микроактюатора.

Использование тонких пленок упрощает технологический процесс получения микроактюаторов и повышает производительность. Пленки могут быть получены разными способами, наиболее распространенные среди которых – это выращивание на подложке и магнетронное распыление. В виду экономических соображений магнетронное распыление можно считать предпочтительным, однако с таким методом связан ряд проблем. Основная из них – аморфное состояние полученной пленки. ЭПФ может происходить только в кристаллических структурах, так как связан с аллотропными превращениями. Возникает потребность проведения термической обработки пленки для восстановления её кристаллической структуры.

По рекомендациям из литературных источников был назначен режим термической обработки: отжиг 900 °С в течение часа [2]. Однако такой отжиг привел к нарушению структуры и химического состава. По результатам исследований были предложены новые режимы термической обработки.

Таким образом, в работе сформулированы проблемы создания и обработки сплавов Гейслера системы Ni-Mn-In. Предложены пути решения и методы исследования данных проблем.

Литература
1. *Лободюк В. А., Эстрин Э. И.* Мартенситные превращения. – М.: Физматлит, 2009. – 351 с.
2. *GueltigM. etal*. ThermomagneticActuationbyLowHysteresisMetamagneticNi-Co-Mn-InFilms //MaterialsToday: Proceedings. – 2015. – Т. 2. – P. 883-886.

УДК 548.2

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ ПАРЫ АУСТЕНИТ-ЦЕМЕНТИТ

Алексей Леонидович Новиков

Студент4курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.С. Крапошин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Предложенная ранее [1] модель структуры металлической жидкости и кристаллических структур металлов в качестве спирального объединения стержней, собранных из полиэдров, развита в направлении модели плавления/затвердевания металлов. Плавление/затвердевание описывается как трансформации стержней, определяемых конструкциями алгебраической геометрии.

В данной работе развитамодель эвтектического превращения в системе железо-карбид железа как процесса разделения единой стержневой структуры расплава на стержни двух типов, соответствующих кристаллическим компонентам затвердевшей эвтектической смеси. Кристаллическая структура карбида железа Fe_3C (рис. 1) содержит наряду с углеродсодержащими кластерами (9-вершинными трехшапочными призмами) 60-градусные ромбоэдры, совпадающие с примитивными элементарными ячейками ГЦК-упаковки, т.е. структура этого карбида содержит зародыш эвтектического сростка металл-карбид.

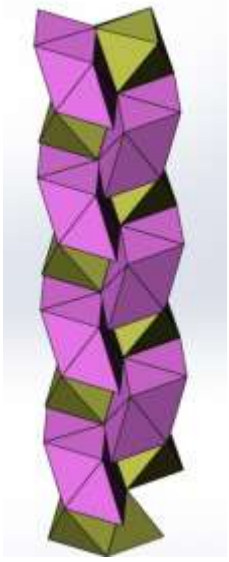


Рис. 1. Кристаллическая структура Fe_3C

Литература
1. *Крапошин В.С., Талис А.Л.*Симметрийные основы полимерной модели плотноупакованных металлических жидкостей и стёкол // Расплавы. - 2016. - № 2. - С. 85-98.

2. *Шубников А.В., Копцик В.А.*Симметрия в науке и искусстве /Под общ. ред. А.В. Шубникова. 3-е изд., доп. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. - 560 с.

УДК 621.762.04

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ВК15

Кира Сергеевна Панина

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Изделия из твердых сплавов широко применяются в качестве режущего инструмента. От свойств используемых материалов зависит срок эксплуатации обрабатывающих инструментов, таких как резцы, фрезы, сверла, рабочие поверхности горнодобывающего оборудования и др. Поэтому в настоящее время является актуальным и востребованным поиск путей повышения механических свойств твердых сплавов.

Анализ современных информационных источников продемонстрировал уникальное сочетаниевысоких показателей прочности, твердости и ударной вязкостидлямелкодисперсных твердых сплавов.

Возможность формирования мелкодисперснойфазы в сплавахреализуется путем введения ингибиторов роста зерна, либо при использовании порошков исходного сырья ультрамелкой фракции. Данные методы обеспечивают значительный прирост прочностных свойств, но являются дорогостоящими. Некоторый опыт в этой области представлен в работах [1 - 5].

Решением обозначенной задачи является путь формирования мелкодисперсной структуры за счет проведения дополнительной термообработки. Технологический процесс представляет собой спекание, а затем повторный нагрев и выдержку в интервале температур от 500 до 1300 ^{o}C.Предполагается, что при этом повышение механических свойств достигается за счет выпадения ультрамелких частиц на основе карбида вольфрама из твердого раствора в кобальтовую связку.

В ходе работы предложена усовершенствованная технология получения мелкодисперсного твердого сплава, в которой спекание и термическая обработка происходят за один процесс.Разработанная технология получения мелкодисперсных твердых сплавов производится на традиционном оборудовании (ПВК-1), из исходного сырья, применяемого для стандартных сплавов. Технологический режим включает в себя размол порошков карбида вольфрама и кобальта в спирте, сушку смеси, смешивание с пластификатором, прессование и последующее спекание.

В качестве объекта исследований выбран стандартный вольфрамокобальтовый твердый сплав ВК15, для получения которого использовали карбид вольфрама марки WC3 по ТУ 1742-002-46878311-2013 со средним размером частиц порошка D50 =3±1мкм, кобальт марки ПК-1У по ГОСТ 9721-79 со средним размером частиц порошка 1,2±0,2мкм.

Для выявления приоритетного режима спекания разработанной технологии проведено спекание подействующему режиму и по режимам с дополнительной выдержкой при температурах 600, 900, 1280 ^{o}C.Сравнительный анализ структуры и свойств режима спекания с выдержкой при 900°C продемонстрировал наибольшую эффективность.

Работа выполнена при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.579.21.093. Уникальный идентификатор RFMEFI57915X0093.

Литература

Gille G., Szesny B., Dreyer K.(2002)Int. J. RefractMetal. Hard Mater., №1, 3.
Хвостанцев Л.Г., Боровский Г.В., Бражкин В.В., Лайцан Л.А.. Эффективное введение наночастиц карбида вольфрама в твердый сплав.// Российскиенанотехнологии. - 2013, Т.8. - №9-10. - С. 78-81.
G.L. Tan, X.J. Wu, Z.Q. Li.(2003) Preparation and Mechanical Properties of Nanostructured Tungsten Carbide Alloys Strengthened by Carbon Nanotubes/ MRS Proceedings, Vol.788.
Заявка на изобретение РФ RU 2013135523 A C22C 29/08, B22F 3/12. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева». Способ получения спеченных твердых сплавов.
Гордеев Ю.И., Абкарян А.К., Зеер Г.М., Лепешев А.А.. Влияниедобавоккерамическихнаночастицнаструктурныепараметрыисвойстватвердыхсплавов.// ВестникСибГАУ. – 2013. - №3. – С. 49.
ГОСТ 3882-74.Сплавытвердыеспеченные. Марки.

УДК 621.789

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Михаил Михайлович Петров

Магистр 1 года,
Кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет име. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В.Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Данная работа посвящена исследованию влияния электромеханической обработки на изменение фазового состава титановых сплавов:ВТ1-0,ВТ3-1, ВТ14.
Цель данной работы: увеличение прочности титановых сплавов в сочетании с повышенной пластичностью, вязкостью и сопротивлением разрушению и тем самым повышение надежности изделий из титановых сплавов. В титановых сплавах данного класса может наблюдаться комплексная многофазная структура, которая требует дальнейших исследований.
Выбор данных марок титановых сплавов обусловлен перспективой применения их для изготовления труб диаметром от 6 до 325 мм и толщиной стенки от 0,5 до 12 мм.
Образцы вырезаны из титановых полуфабрикатов. Химический состав, получен при спектральном анализе на лазерном атомно-эмиссионном спектрометре и представлен в таблице 1.

Таблица 1. Содержание легирующих элементов в исследованных титановых сплавах

Марка сплава	Содержание химических элементов, масс.%										
	Al	C	Cr	Fe	Mn	Mo	Si	V	Zn	Zr	примеси
ВТ1-0	7.624	0.04	0.011	0.158	0.061	3.524	0.219	0.011	0.139	1.64	0,3
ВТ3-1	7.556	0.037	1.799	0.472	0.071	2.439	0.283	0.112	0.132	0.048	
ВТ14	6.8	0.1	0.01	0.15	0.07	3.76	0.14	1.62	0.15	0.05	

Метод электромеханической обработки реализуется при пропускании электрического тока расчетной плотности и низкого напряжения через зону контакта детали и инструмента. При этом происходит высокоскоростной нагрев локального объема поверхности с одновременным ее термопластическим деформированием упрочняющим инструментом и последующее интенсивное охлаждение за счет отвода тепла вглубь материала. Преимуществом метода является то, что термомеханический процесс «нагрев-выдержка-деформирование-охлаждение» происходит в закрытой зоне, и отличается низким энергопотреблением и экологической чистотой [1-3].

При обработке увеличивается плотность дислокаций до 10^{12} $см^{-2}$и происходит упорядочение концентрационного распределения дислокаций в титановых сплавах путем электроконтактного нагрева изделий до температур фазовых превращений [2].

Литература

Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / *Б.М.Аскинази*. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.

Багмутов В.П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация./ *В. П. Багмутов, С. Н. Паршев, Н. Г. Дудкина, И. Н. Захаров.* – Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.

Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. // РИТМ 2012. №2(70).С. 14 – 16.

Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. −М.:Наука, 1994.

УДК 669.15-194.57

РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РУЛОННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ГИБКИХ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА

Никита Сергеевич Петухов

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители:
А.Е. Смирнов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»
М.Ю. Матросов,
кандидат технических наук, директор отдела ЦТСК ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

В данной работе представлены промежуточные результаты исследований по разработке химического состава и технологии производства импортозамещающей стали типа ASTMA606 для длинномерных гибких труб (ДТБ). Разработаны 3 варианта химического состава, отличающиеся содержаниемC, Mn, Mo.

Проведены дилатометрические и металлографические исследования металла лабораторных плавок. 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 Ac_1 и Ac_3 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 разработаны рекомендации по термической обработке ДТБ.

Таблица 1. Требуемый химический состав опытных плавок

Плавка	**C**	**Si**	**Mn**	**S**	**P**	**Cr**	**Ni**	**Cu**	**Mo**	**Al**	**Nb**	**V**	**Ti**
536	0,14	0,40	1,05	0,003	0,004	0,52	0,20	0,31	-	0,02	0,03	0,03	0,030
537	0,12	0,39	1,05	0,003	0,004	0,50	0,19	0,32	0,20	0,03	0,03	0,03	0,030
538	0,14	0,38	0,70	0,003	0,004	0,51	0,17	0,31	0,19	0,02	0,03	0,03	0,030

В качестве оценки свариваемости трубных сталей для каждой лабораторной плавки был найден углеродный эквивалент $C_{экв}$, который рассчитывали по следующей формуле:

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Cu + Ni}{15},$$

где C, Mn, Cr, V, Mo, Cu, Ni – концентрации соответствующих химических элементов, %.Для плавки № 536 $C_{экв}$ = 0,459, для плавки №537 $C_{экв}$ = 0,479, для плавки №538 $C_{экв}$= 0,435.

Литература

1. *Попов А.А., Попова А.Е.* Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. – М.: Металлургия, 1991. - 502 с.
2.*Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л.* Физические свойства металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

УДК 621.77.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ксения Борисовна Поликевич

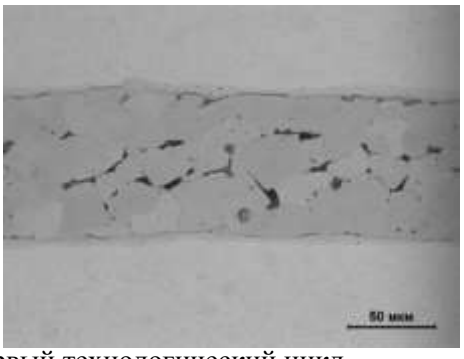
Магистр 2 года
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

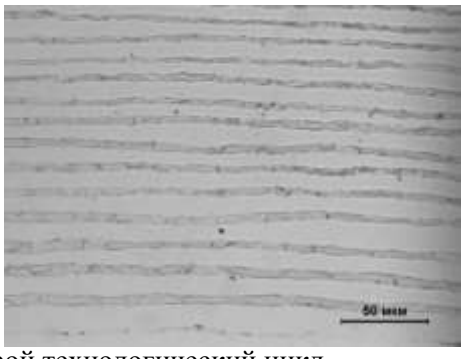
Многослойные металлические материалы изготавливают с помощью горячей пакетной прокатки. Для получения многослойной заготовки, которая будет соответствовать заданным требованиям, необходимо соблюдение определенных параметров технологического режима, зависящих от полного представления о деформации таких материалов. Так, в некоторых случаях, может наблюдаться раскрытие пакетов, что приводит к окислению контактных поверхностей, а иногда и к невозможности дальнейшего проката, такая заготовка списывается в брак [1-4].

В ранних работах было показано, что одной из характерных особенностей процесса получения многослойных металлических материалов является наблюдаемый эффект значительного увеличения сопротивления деформации при прокатке, по сравнению с аналогичными значениями, полученными на монозаготовках с полиэдрическим строением структуры [5]. Причиной увеличения сопротивления деформации композитных заготовок может являться формирование особого вида структуры, известной как «бамбуковая» (рис. 1), которая

формируется на заключительных стадиях первого технологического цикла и наследуется на втором.



а) первый технологический цикл, толщина заготовки 10 мм



б) второй технологический цикл, толщина заготовки 10 мм

Рис. 1. Микроструктуры поперечного сечения многослойного образца композиции 08Х18Н10+У8

Для изучения этого эффекта подготовленные образцы, состоящие из попеременно чередующихся слоев сталей У8 и 08Х18Н10 размером 10×10 мм, были подвергнуты действию локальной деформации с помощью пресса Бринелля шаровым индентером∅ 10 мм под нагрузкой 3 т.

Было установлено, что глубина зоны деформации в образцах, имеющих толщину единичного слоя равной 100 мкм при суммарном количестве слоев 100 шт. и в образцах, имеющих толщину единичного слоя 5 мкм при суммарном количестве слоев 2000 шт, существенным образом отличаются друг от друга. Так, в образцах с количеством слоев,равном 100, глубина деформированной зоны составляет не менее 50% от высоты образца и равна 5 мм. В образцах же, имеющих толщину единичного слоя равной 5 мкм при суммарном количестве слоев 2000, деформированная зона занимает не менее 15% от высоты образца и равна 1,5 мм[6].

Известно, что причиной, в результате которой может наблюдаться увеличение сопротивления деформации материала, может быть наличие значительных остаточных межслойных напряжений, возникающих вследствие разности ТКЛР сталей, используемых для создания данного материала. Так, например, в работе [7] экспериментально были определены величины остаточных напряжений для биметалла, состоящего из сталей 08Х18Н10Т и Ст3. Установлено, что остаточные напряжения в различных слоях имеют разные знаки и величины. В частности, в стали 08Х18Н10Т они имеют положительные (растягивающие) значения, составляющие не менее 200 МПа. В слоях же стали Ст3 эти напряжения имеют противоположный знак и по абсолютной величине не превышают 5 МПа.

Таким образом, дополнительным фактором, приводящим к повышению нормальных к поверхности многослойного материала напряжений, могут являться не только количество слоев в материале, способствующих торможению механизмов скольжения дислокаций, но и дополнительные межслойные напряжения различной величины и знака.

Литература

1. *Голованенко С. А., Меандров Л. В*. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.

2. *Король В. К., Гильденгорн М. С*. Основы технологии производства многослойных металлов. – М.: Металлургия, 1970. – 237 с.

3. *Меандров Л. В.* Двухслойные коррозионностойкие стали. – М.: Металлургия, 1970. – 228 с.

4. *Пирязев Д. И., Хорошилов Н. М., Кузьменко Ю. А.* Производство листовой биметаллической стали. – К.: ЦБТИМЧМ УССР, 1966. – 71 с.

5. *Колесников А.Г., Плохих А.И., Шинкарев А.С., Миронова М.О.* Прокатка стального многослойного материала // Заготовительные производства в машиностроении. - 2013. – № 8. – С. 39 – 43
6.*Поликевич К. Б.* Исследование процессов пластической деформации многослойных материалов [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7 – 10 апреля 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2015. - № гос. регистрации 0321501427. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=1215 (дата обращения: 26.05.2015).– Загл. с экрана.
7.*Голованенко С. А.* Сварка прокаткой биметаллов. – М.: Металлургия, 1977. – 158 с.

УДК 669.245

ВЫБОР РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ВЖ159 ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ 1000 °С

Павел Сергеевич Рыбин

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Помельникова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Никелевые сплавы прочно удерживают свои позиции в качестве материала для деталей горячей зоны газотурбинных двигателей (ГТД).
Материал для жаровых трубкамер сгорания ГТД должен иметь высокую жаростойкость, удовлетворительную свариваемость всеми видами сварки, хорошую технологичность при проведении горячей и холодной обработки давлением, а также долженбыть ремонтопригодным в процессе изготовления узлов и после наработки в изделиях.
Широкое применение для изготовления жаровых труб ГТД нашли серийные жаропрочные никелевые сплавы ВЖ98 и ЭП648, максимальная рабочая температура которых достигает 1000°С. Данные сплавы технологичны и свариваются всеми видами сварки[1].
Сплав ЭП648 имеет в своем составе большое количество хрома (33 масс. %), и, вследствие этого, в процессе наработки при высокой температуре охрупчивается, что приводит к ограничению возможности ремонта деталей. Сплав ВЖ159 был разработан во ФГУП «ВИАМ», как замена сплаву ЭП648. По сравнению с ним он обладает повышенными механическими свойствами и термостойкостью, имеет более низкую плотность и является экономически выгодным в связис отсутствием в химическом составе кобальта и вольфрама, а также использованием более дешевого хрома марки Х99Н4 вместо ЭРХ [2,3].
Сплав может применяться как для корпусов камер сгорания с рабочей температурой до 650 °С, так и для жаровых труб камер сгорания ГТДс рабочей температурой до 1000 °С, в связи с этим он имеет несколько вариантов термической обработки.
Целью данной работы являлся выбор режима термической обработки сплава ВЖ159 для работы при температурах до 1000 °С.
В процессе исследования была проведена термическая обработкапо двум режимам:
Закалка 1100 °С, старение 800 °С 5 часов, старение 700 °С 10 часов;
Закалка 1180 °С, старение 800 °С 5 часов.
Изучена микроструктура образцов после термической обработки.

Измерение балла зерна было проведено в соответствии с ГОСТ 5639-82 методом сравнения с эталонными шкалами и методом расчета среднего диаметра (с использованием программы анализа изображений NexsysImageExpertPro). Исследована микроструктура образцов, построены гистограммы распределения по величине зерна.Для каждого режима было проведено более 250 измерений.

По результатам проведенного анализа для деталей, работающих при температурах до 1000 °С, был выбран второй режим.В дальнейшем будут исследованы механические и физические свойства сплава ВЖ159, оптимизирован режим термической обработки заготовок из сплава ВЖ159 для работы при температурах до 1000 °С.

Литература

1. *Сорокин Л.И.* Свариваемость жаропрочных сплавов, применяемых в авиационных газотурбинных двигателях //Сварочное производство. – 1997. – №. 4. – С. 4-11.
2. *Ломберг Б.С., Моисеев С.А.* Жаропрочные и деформируемые сплавы для современных и перспективных ГТД //Все материалы. Энциклопедический справочник, 2007. - № 6. - С. 2–5.
3. *Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М., Мазалов И.С.* Высокожаропрочные деформируемые никелевые сплавы для перспективных газотурбинных двигателей и газотурбинных установок //Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2011. – №. SP2.

УДК 67.017

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА ГРАНУЛИРУЕМОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Ni-Cr-Mo-Al-Co ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Татьяна Геннадьевна Севальнёва

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение»

Жаропрочные никелевые сплавы берут свое начало в 40-х годах прошлого века и сегодня остаются одними из важнейших конструкционных материалов для производства наиболее ответственных деталей газотурбинных и ракетных двигателей, а также установок для газоперекачки, энергетики и др. И, как известно, на сегодняшний день примерно 80% изготовляемых данных конструкций – сварные.

Однако требования к прочностным характеристикам материалов не перестают расти. Постоянное повышение жаропрочности и связанное с этим усложнение состава сплавов привело к тому, что получение из них заготовок дисков, валов и других деталей оказалось весьма проблематичным В настоящее время остро встает вопрос создания такой технологии, которая отвечала бы требованиям современного мира.

Технологией, которая помогает решить ряд сложных задач повышения прочности, является гранульная металлургия. Она позволяет увеличить прочность материала без интенсивного снижения характеристик пластичности за счет увеличения протяженности межзеренного пространства и создания препятствий на пути движения дислокаций. Измельчение зерна осуществляется за счет повышения скорости кристаллизации расплава.

При увеличении скорости охлаждения до 10^3 -10^4 К/с возможно получить однофазную, мелкозернистую структуру с равномерно распределенными по объему матрицы легирующими элементами.

Перед предприятием стратегического назначения ОАО «Композит» встала задача создания жаропрочного свариваемого сплава на основе никеля, получаемого методом гранульной металлургии с наименьшим количеством компонентов.

Для решения задачи был разработан жаропрочный свариваемый сплав системы Ni – Cr – Mo – Al – Co. Химический состав исследуемого сплава представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемого никелевого сплава, масс. % [1]

Ni	Cr	Mo	Al	Co	Nb	Hf	C
59.9-66.2	15.0-16.0	7.5-8.5	4.0-5.0	5.0-7.0	2.0-3.1	0.3-0.5	0.008-0.01

Анализ литературы показал, что электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является лучшим решением для никелевых сплавов. Электронно-лучевой сваркой можно сваривать практически все марки никелевых сплавов, при этом удается получать соединения больших толщин за один проход и с большой скоростью. Высокая чистота атмосферы (вакуум) и особенности термического цикла позволяют получать соединения с механическими свойствами на уровне основного металла.

Сама технология гранульной металлургии состоит из следующих этапов.

1. Контроль качества исходной заготовки.
2. Распыление жидкого сплава.
3. Рассев гранул, сепарация и очистка.
4. Засыпка гранул и их герметизация в капсулах.
5. Горячее изостатическое прессование (ГИП)для получения монолитной заготовки из гранул.
6. ТО: закалка + старение – характерная для никелевых сплавов.

Поэтому с целью исследования изменения микроструктуры сварного шва сплава в зависимости от термической обработки было принято решение провести ЭЛУ после таких технологических этапов как ГИП, закалка, закалка+ старение.

Исследования микроструктуры показали, что после закалки с последующим старением, образуется наиболее мелковетвистая, однородная дендритная структура, по сравнению с остальными этапами (рис. 1). Методом оптической микроскопии трещин в сварных швах, а также в зонах термического влияния не было обнаружено, которые могли возникнуть в шве из-за разности термических напряжений в материале.

а) б) в)

Рис. 1. Микроструктура сварного шва непосредственно после а) ГИП ×200, б) закалка ×50, в) закалка и старение ×50.

После проведения дюрометрического анализа было получено, что уровень твердости шва близок к уровню твердости основного металла, что говорит о получении прочного, качественного сварного соединения.

УДК 621.762

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НИРЕЗИСТА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ирина Михайловна Гребенюк[(1)], Екатерина Артуровна Севрюгина[(2)], Виктория Владимировна Роменская[(3)]

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение» [(1)]
Магистр 2 года
Кафедра «Электронные технологии в машиностроении» [(2), (3)]
Московский технический университет им. Н.Э. Баумана
Научный руководитель:Федорова Л. В., профессор кафедры «Материаловедение».

К изделиям, работающим в непосредственном контакте с нефтью и нефтепродуктами предъявляют требования коррозионной стойкости, высокой износостойкости, сравнительной невысокой себестоимости и другие. Получение данных свойств без использования легирования, термообработки, химико-термической обработки, электромеханической и многих других практически невозможно. Особенно это актуально для предприятий, занимающихся производством насосных установок погружного типа нефтедобывающего оборудования. Они, как правило, эксплуатируются в агрессивной среде и основным материалом являются коррозионностойкие чугуны ЧН16Д7ГХ. Это высоконикелевые чугуны аустенитного класса с шаровидным или пластинчатым графитом со специальными свойствами. Посредством легирования обеспечиваются и требуемые эксплуатационные свойства: жаропрочность, жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость, парамагнитность, хладостойкость. Исследовано влияние различных элементов на структуру чугуна. Известно, что Ni, Co, Cu, Si оказывают графитизирующее влияние, способствуют размельчению выделений графита и в то же время позволяют получить более дисперсные перлитные игольчатые и мартенситные структуры. Такие элементы в составе чугунов, как Cr, Mo, W, V препятствуют графитизации и могут образовывать при достаточном их количестве специальные карбиды.
Исследованы опытные образцы чугунов типа нирезист с аустенитной матрицей и различными вариантами карбидов. В данной работе рассматривается ступень нефтяного электроцентробежного насоса фирмы Schlumberger, изготовленная из нирезиста с электромеханической поверхностной закалкой (ЭМПЗ) и карбонитрацией.
Представлены результаты металлографических исследований образцов нирезиста после электромеханической поверхностной закалки и карбонитрации. Отмечено увеличение микротвердости с 235HV до 435HV. Глубина слоя при ЭМПЗ составила 150…200 мкм, а после карбонитрации - до 20 мкм.

Литература

1. *Морозов А.В., Федорова Л.В., Горев Н.Н., Шамуков Н.И.* Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. №2 (187), с. 24-27.
2. *Федорова Л.В., Федоров С.К.* Электромеханическая обработка. РИТМ, 2012. 2(70), с. 14 – 16.
3. *Федорова Л.В., Багмутов В.П., Федоров С.К., Калита В.И., Захаров И.Н.* Электромеханическая обработка для тяжелого машиностроения. РИТМ, 2012. №5(73), с. 16 – 18
4. *Федорова Л.В., Фрилинг А.В., Морозов А.В.* Повышение эффективности электромеханической закалки отверстий гладких цилиндрических подвижных сопряжений

испытывающих одностороннюю радиальную нагрузку. Ремонт восстановление модернизация. 2012 - №8. – с.49-53.
5. *Федорова Л.В., Федоров С. К., Габидов А.Г., Бураков В. О.* Повышение износостойкости втулок защитных покрытий насосов электромеханической поверхностной закалкой. Международный технико-экономический журнал. 2013. №5, с. 91-96.

УДК 544.6.018.462.2

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТОВ Bi_2O_3-B_2O_3C ЖИДКОКАНАЛЬНОЙ ЗЕРНОГРАНИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Михаил Самирбекович Седов

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.Ю. Сапронов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Эксплуатация современных высокотехнологичных машин и устройств не возможна без потребления электроэнергии. При этом необходимо обеспечить автономность работы источника энергии. Этого можно достичь путем применения топливных элементов. Топливные элементы обычно классифицируют по типу используемого в ячейке электролита. Существуют два класса топливных элементов – низко- и высокотемпературные. К низкотемпературным относят щелочные топливные элементы (ЩТЭ), полимерно-мембранные топливные элементы (ПМТЭ), направленно-метанольные топливные элементы (НМТЭ) и фосфорно-кислотные топливные элементы (ФКТЭ). К высокотемпературным относятся расплавно-карбонатные топливные элементы (РКТЭ) и твердо-оксидные топливные элементы (ТОТЭ). В этом ряду наиболее перспективными являются ТОТЭ [1]. Преимущество ТОТЭ по сравнению с другими топливными элементами заключается в том, что они не нуждаются в дорогом катализаторе (платине) и могут работать на многих видах топлива, однако ресурс работы их недостаточен. Поэтому в последние десятилетия значительное количество исследований было направлено на поиск электролитов с высокой ионной проводимостью в среднетемпературной области 600-800°С [2] с целью увеличения экономической эффективности и коммерческой привлекательности ТОТЭ.

Сравнительно недавно предложена концепция расплавно-оксидного топливного элемента [3], где в качестве электролита используется материал с жидкоканальной жерногранычной структурой (ЖЗГС). Эта структура состоит из твердых зерен и жидких каналов по их границам, проводящих ионы кислорода (рис.1). При этом электронная проводимость такой структуры должна отсутствовать. Кроме того, наличие жидкой фазы позволяет получить газоплотный материал.

Известно, что наивысшей ионной проводимостью по кислороду обладает δ-Bi_2O_3 выше 730 ºС. Однако, применение чистого Bi_2O_3 затруднено, ввиду его растрескивания при полиморфном переходеα→δ. Одним из способов решения этой проблемы является формирование ЖЗГС на основе Bi_2O_3 с добавкой B_2O_3, которая не проводит электроны. В связи с этим целью данной работы являлось исследование электропроводности композитов Bi_2O_3 – B_2O_3, в рамках которой решались такие задачи как: синтез композитов Bi_2O_3 с различной добавкой B_2O_3, измерение электропроводности, изучение микроструктуры и установление взаимосвязи между составом, микроструктурой и электропроводностью полученного материала.

Синтез образцов проводился в несколько этапов: предварительный отжиг смеси порошков Bi_2O_3 и B_2O_3 заданного состава при температуре 750°С в течение 1 часа; размол в изопропиловом спирте в течение 30 минут с помощью планетарной мельницы при комнатной температуре; сушка смеси при температуре 200°С в течение 3 часов; прессование порошка с усилием 2 т/см^2 для изготовления образцов в специально изготовленной пресс-форме с добавлением связующего 5% водного раствора ПВС к порошковой смеси и спекание образцов при 750 °С в течение 10 часов на платиновой подложке. Процесс синтезирования сопровождался контролем образцов на фазовый состав рентгеновским методом и на пористость методом гидростатического взвешивания.

Электропроводность определяли четырехзондовым методом в потенциостатическом режиме на воздухе в интервале от 550 до 780°С. Анализ температурной зависимости электропроводности показывает, что существует три температурных интервала, характеризующих поведение материала. В первом интервале (550…630 °С) электропроводность не зависит от состава, что характерно для структуры α-Bi_2O_3 и $Bi_{24}B_2O_{39}$, во втором интервале (630…730 °С) электропроводность зависит от состава композита, она тем выше, чем больше массовая доля B_2O_3и характерна для структуры Bi_2O_3+ жидкость. В третьем интервале (730…780°С) электропроводность скачкообразно возрастает и практически не зависит от состава композитов, что связано с полиморфным превращением Bi_2O_3.

Исследование микроструктуры композитов, охлажденных от 750 °С, показывает формирование ЖЗГС (рис. 2). На фотографии видно наличие крупных зерен Bi_2O_3 по границам которых располагается перитектическая фаза $Bi_{24}B_2O_{39}$, которая при нагреве выше 630 °С распадается на α-Bi_2O_3 и расплав, который залечивает трещины, формирующиеся при полиморфном превращении α→δ Bi_2O_3, что обеспечивает этим композитам высокую газоплотность. Это позволяет рекомендовать данный композит в качестве материала электролита топливного элемента.

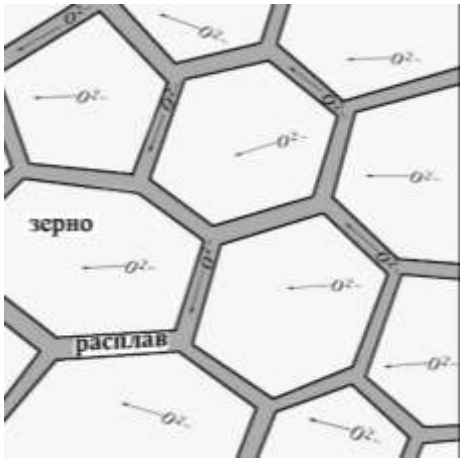


Рис. 1. Типичная жидкоканальная зернограничная структура (ЖЗГС)

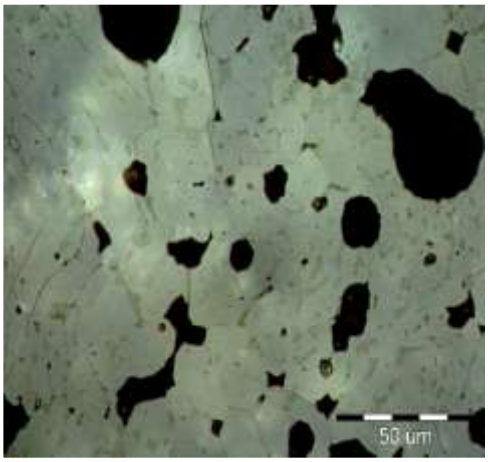


Рис. 2. Структура композита Bi_2O_3 – 0,2 масс. % B_2O_3 после нагрева 750°С

Литература

1. *Haile S.M.* Fuel cell materials and components // Acta Mater. 51 (2003) 5981–6000.
2. *Zhu B.* Next generation fuel cell R&D // Int. J. Energy Res. 30 (2006) 895–903.
3. *Belousov V.V., Fedorov S.V.* A Novel Molten Oxide Fuel Cell Concept // Fuel Cells 16 (2016) 401-403.

УДК 621.787

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 20ХГН ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Виктория Сидоренко [(1)], Максим Андреевич Мельник [(2)], Леонид Леонидович Картушин[(2)]

Магистр2года[(1)], кафедра «Материаловедение»
студент 2 курса [(2)],кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

К настоящему времени имеющиеся возможности для повышения качества поверхностей способами только объемной термической обработки практически полностью себя исчерпали.Важное место в повышении долговечности широкого класса деталей машин отводится качеству металла не всего сечения изделия, а структурному состоянию и физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Именно поверхностный слой во многом определяет износостойкость, сопротивление материала усталостному разрушению, контактную выносливость, коррозионную стойкость и другие важные эксплуатационные свойства.

Наиболее эффективным направлением снижения себестоимости изготовления деталей и повышения качества машин являются технологии обработки поверхностей концентрированными потоками энергии (КПЭ). К методам упрочнения поверхностного слоя стальных деталей КПЭ относится электромеханическая обработка.

Представлены результаты расчетно-экспериментального исследования свойств поверхностного слоя стали 20ХГН после электромеханической поверхностной закалки (ЭМПЗ).

Рассмотрены особенности ЭМПЗ деталей из стали 20ХГН, определены режимы и схема обработки, сформулированы выводы, которые могут быть рекомендованы для рационального выбора повышения износостойкости деталей нефтяного оборудования. Приведены результаты металлографических исследований и замеров микротвердости образцов из стали20ХГН после обработки.

В результате ЭМПЗ поверхностный слой обладает высокими эксплуатационными характеристиками. Во многом этому способствует формирование и развитие уникальных наноструктурных упрочняющих структур, образование которых происходит за счет интенсивного температурно-силового контактного воздействия в процессе электромеханической обработки.

Литература

1. *Федорова Л. В.* Влияние отделочно-упрочняющей электромеханической обработки на предел выносливости резьбовых соединений. // Технология металлов. – 2006. - № 7. – С. 41– 45.

2. *Крапошин В.С.* Инженерные соотношения для глубины поверхностного нагрева металла высококонцентрированными источниками энергии //Металловедение и термическая обработка металлов. – 1999. - №7. - С. 31-36.

3. *Федорова Л.В., Морозов А.В., Фрилинг В.А.* Исследование влияния содержания углерода на микротвердость при избирательной электромеханической закалке трибонагруженного участка отверстия / /Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2012. - № 3. - С. 9-14.

УДК 621.785.616.1

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ В АЗОТЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ

Дария Петровна Слепцова *(1)*, ***Юлия НиколаевнаРожкова*** *(2)*

Магистр 1 года(1), студент 4 курса(2)
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университетим. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.Ю. Шевченко, А.Е. Смирнов,
кандидаты технических наук, доценты кафедры «Материаловедение»

Бериллиевые бронзы обладают наилучшим комплексом свойств по сравнению с другими бронзами. Они характеризуются высокими пределами упругости, временным сопротивлением, твердостью и коррозионной стойкостью в сочетании с повышенными сопротивлениями усталости, ползучести и износу. Также являются теплостойкими материалами, эксплуатационные свойства не меняются при нагреве до 310…340 °С. При 500 °С эти сплавы имеют приблизительно такое же временное сопротивление, как оловянно-фосфористые и алюминиевые бронзы при комнатной температуре. Эти ценные качества способствуют широкому применению бериллиевых бронз в промышленности.

Большинство изделий из бериллиевых бронз изготавливают способом холодной пластической деформации. Для проведения любых операций, связанных с пластической деформацией – ковка, штамповка, прокатка, волочение и т.д. – требуется закалка исходных заготовок. В закаленном состоянии эти сплавы обладают высокой технологической пластичностью, т.е. свойством подвергаться деформации без разрушения, что позволяет получать сложные детали, например, штамповкой с глубокой вытяжкой. Именно поэтому разработка новых технологий закалки бериллиевых бронз является актуальной задачей для исследований.

Газовая закалка с нагревом в вакуумных печах имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной закалкой в воде, главные из которых – возможность регулирования интенсивности закалки путем контроля давления и скорости газа и обеспечение безокислительного нагрева. Использование газовой закалки могло бы обеспечить более высокое качество термической обработки бериллиевой бронзы.

Целью данной работы является исследования закалки в азоте высокого давления и ХПД на свойства бериллиевой бронзы. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи: сравнение значений микротвердости и исследование микроструктуры образцов из сплава БрБ2 после закалки в газе и холодной пластической деформации, а также после старения образцов.

Образцы для исследования представляли собой ленты из бериллиевой бронзы марки БрБ2. Химический состав сплава приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав БрБ2 по ГОСТ 18175-77

Cu, %	Be, %	Ni, %	Si, %	Al, %	Pb, %	Fe, %
96,9-98	1,8-2,1	0,2-0,5	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,005	≤ 0,15

Для закалки в вакуумной печи лента из бериллиевой бронзы была свернута в рулоны (рис. 1).

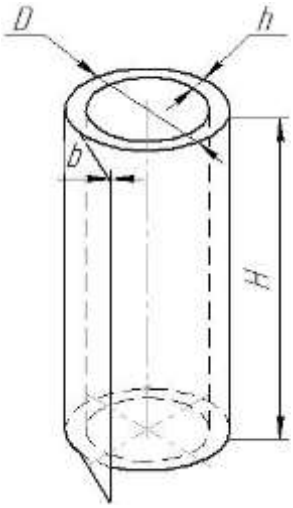


Рис. 1. Эскиз рулона из БрБ2

Размеры рулона при закалке в газе: высота *H*=120мм, диаметр рулона *D*=370 мм, толщина рулона *h*=15 мм, толщина ленты *b*=0,5 мм

Обработка образцов состоит из закалки в газе, ХПД и старения. Для оценки влияния ХПД также проведено старение сразу после закалки.

Газовую закалку проводили в вакуумной печи 10.0VPT - 4020/24, температура нагревасоставляла 780°С, время нагрева и выдержки 100 минут. Охлаждающая среда – азот при давлении 7,3 атм.

Старение проводили в печи МПЛ-6 при температуре 340 °С со временем выдержки 30, 45, 60, 75 и 90 минут. Старение после закалки проведено при той же температуре со временем выдержки 90 минут.

Исследование микроструктуры образцов проведено с помощью микроскопа Olympus GX 51. Микроструктуры образцов приведены на рисунках 2,3 и 4.

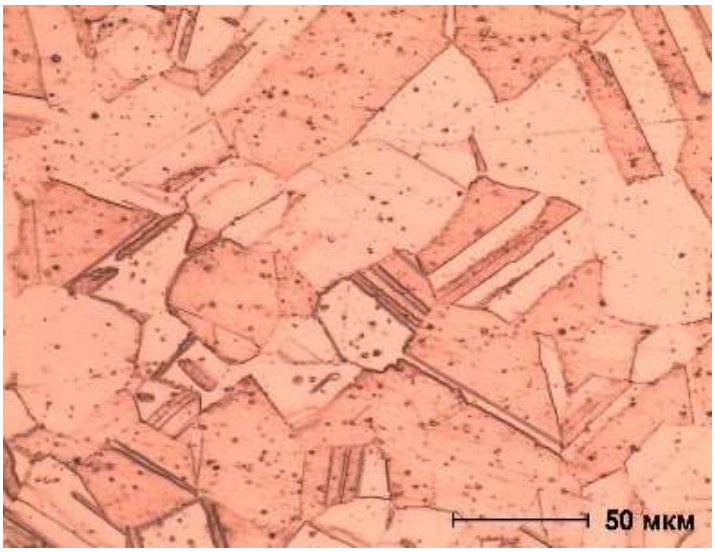


Рис. 2. Микроструктура образца после закалки в газе

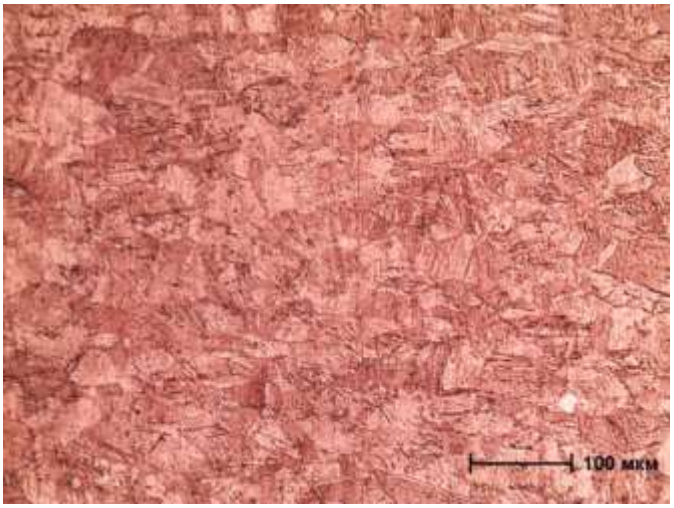


Рис. 3. Микроструктура образца после закалки в газе и ХПД

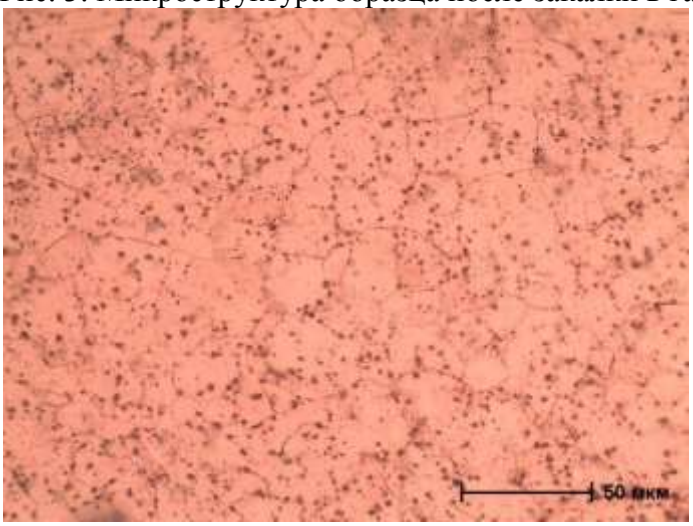


Рис. 4. Микроструктура образца после закалки в газе, ХПД и старения

После закалки в газе наблюдается небольшое количество включений в матрице α-твердого раствора. После ХПД зерна немного вытянуты в направлении прокатки.

Для определения микротвердости образцов использовали микротвердомерDuraScan70. Нагрузка составляла 25 г.

Результаты измерения микротвердости образцов представлены в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2. Результаты измерения микротвердости образцов

Состояние	HV 0,025
Закалка в газе	210,5 ± 7,03
Закалка в газе + старение	458,1 ± 7,69
Закалка в газе + ХПД	247,2 ± 7,63

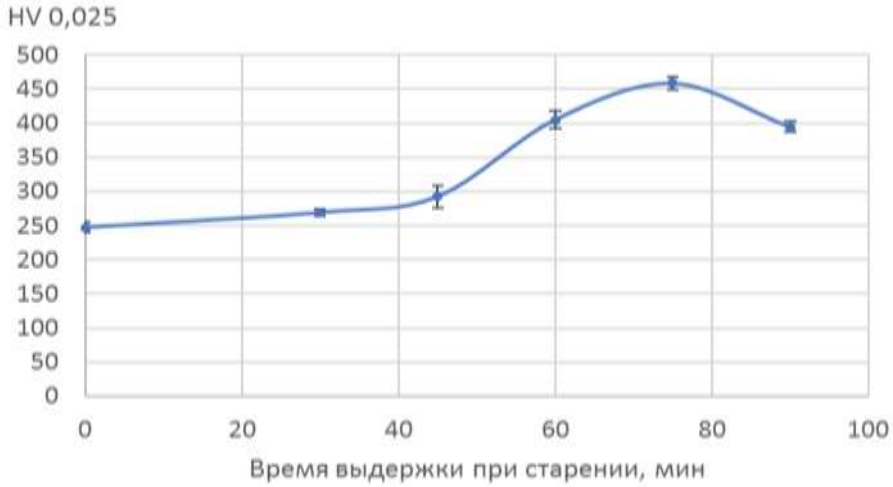


Рис. 5. Кинетика изменения микротвердости БрБ2 при старении после ХПД

При одном и том же значении времени выдержки при старении (90 минут) твердость недеформированного образца выше, чем образца после ХПД. Это можно объяснить тем, что процесс распада деформированного твердого раствора проходит быстрее, чем недеформированного. При деформации увеличивается количество дефектов, которые ускоряют процессы диффузии и облегчают зарождение областей новой фазы. Максимальная твердость образца после ХПД достигается при выдержке 75 минут.

Выводы:

1. Результаты экспериментов подтверждают, что при охлаждении в среде азота высокого давления происходит закалка бериллиевой бронзы.
2. Холодная пластическая деформация бериллиевых бронз ускоряет процессы распада при старении.

Литература

Lior N. The cooling process in gas quenching // Journal of materials processing technology. - 2004. - pp. 1881–1888.

Пастухова Ж.П., Рахштадт А.Г. Пружинные сплавы цветных металлов / под ред. Ж.П. Пастуховой. - М.: Металлургия, 1983.– 364 с.

Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1971. – 496 с.**УДК 621.785.616.1**

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ В АЗОТЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ

Дария Петровна Слепцова *(1)*, ***Юлия НиколаевнаРожкова*** *(2)*

Магистр 1 года(1), студент 4 курса(2)
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университетим. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.Ю. Шевченко, А.Е. Смирнов,
кандидаты технических наук, доценты кафедры «Материаловедение»

Бериллиевые бронзы обладают наилучшим комплексом свойств по сравнению с другими бронзами. Они характеризуются высокими пределами упругости, временным сопротивлением, твердостью и коррозионной стойкостью в сочетании с повышенными сопротивлениями

усталости, ползучести и износу. Также являются теплостойкими материалами, эксплуатационные свойства не меняются при нагреве до 310…340 °С. При 500 °С эти сплавы имеют приблизительно такое же временное сопротивление, как оловянно-фосфористые и алюминиевые бронзы при комнатной температуре. Эти ценные качества способствуют широкому применению бериллиевых бронз в промышленности.

Большинство изделий из бериллиевых бронз изготавливают способом холодной пластической деформации. Для проведения любых операций, связанных с пластической деформацией – ковка, штамповка, прокатка, волочение и т.д. – требуется закалка исходных заготовок. В закаленном состоянии эти сплавы обладают высокой технологической пластичностью, т.е. свойством подвергаться деформации без разрушения, что позволяет получать сложные детали, например, штамповкой с глубокой вытяжкой. Именно поэтому разработка новых технологий закалки бериллиевых бронз является актуальной задачей для исследований.

Газовая закалка с нагревом в вакуумных печах имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной закалкой в воде, главные из которых – возможность регулирования интенсивности закалки путем контроля давления и скорости газа и обеспечение безокислительного нагрева. Использование газовой закалки могло бы обеспечить более высокое качество термической обработки бериллиевой бронзы.

Целью данной работы является исследования закалки в азоте высокого давления и ХПД на свойства бериллиевой бронзы. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи: сравнение значений микротвердости и исследование микроструктуры образцов из сплава БрБ2 после закалки в газе и холодной пластической деформации, а также после старения образцов.

Образцы для исследования представляли собой ленты из бериллиевой бронзы марки БрБ2. Химический состав сплава приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав БрБ2 по ГОСТ 18175-77

Cu, %	Be, %	Ni, %	Si, %	Al, %	Pb, %	Fe, %
96,9-98	1,8-2,1	0,2-0,5	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,005	≤ 0,15

Для закалки в вакуумной печи лента из бериллиевой бронзы была свернута в рулоны (рис. 1).

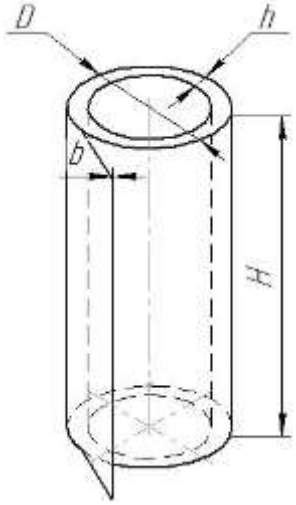


Рис. 1. Эскиз рулона из БрБ2

Размеры рулона при закалке в газе: высота H=120мм, диаметр рулона D=370 мм, толщина рулона h=15 мм, толщина ленты b=0,5 мм

Обработка образцов состоит из закалки в газе, ХПД и старения. Для оценки влияния ХПД также проведено старение сразу после закалки.

Газовую закалку проводили в вакуумной печи 10.0VPT - 4020/24, температура нагревасоставляла 780°С, время нагрева и выдержки 100 минут. Охлаждающая среда – азот при давлении 7,3 атм.
Старение проводили в печи МПЛ-6 при температуре 340 °С со временем выдержки 30, 45, 60, 75 и 90 минут. Старение после закалки проведено при той же температуре со временем выдержки 90 минут.
Исследование микроструктуры образцов проведено с помощью микроскопа Olympus GX 51. Микроструктуры образцов приведены на рисунках 2,3 и 4.

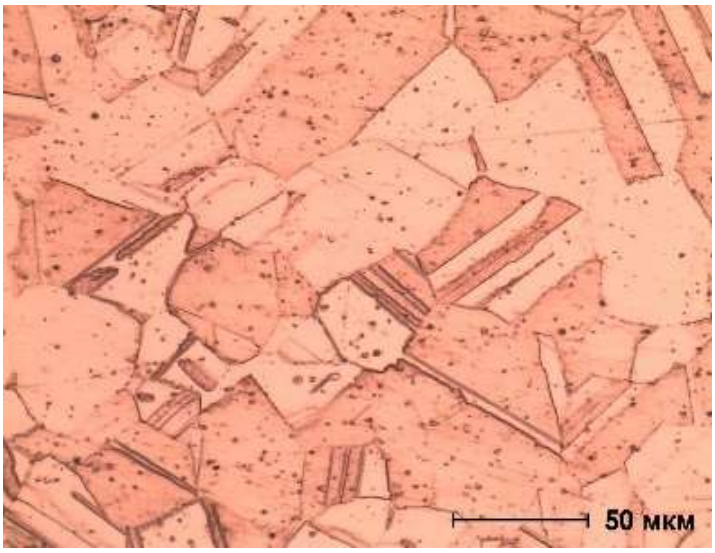


Рис. 2. Микроструктура образца после закалки в газе

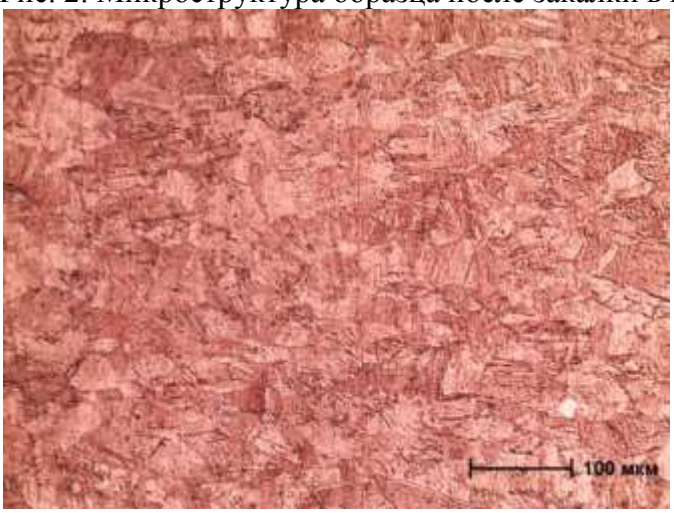


Рис. 3. Микроструктура образца после закалки в газе и ХПД

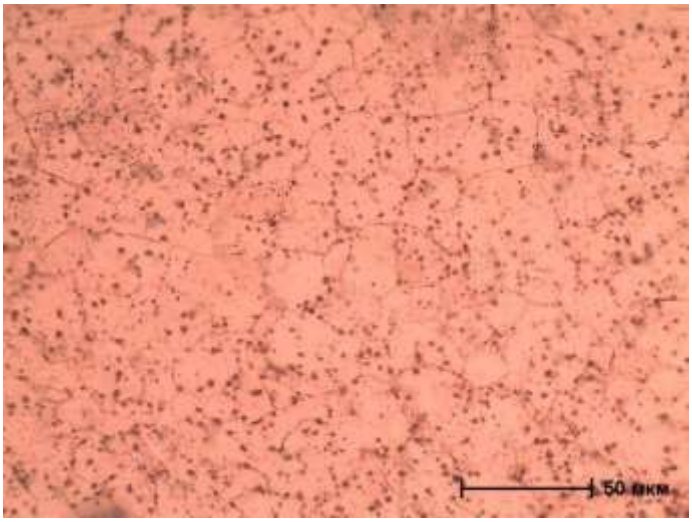


Рис. 4. Микроструктура образца после закалки в газе, ХПД и старения

После закалки в газе наблюдается небольшое количество включений в матрице α-твердого раствора. После ХПД зерна немного вытянуты в направлении прокатки.

Для определения микротвердости образцов использовали микротвердомерDuraScan70. Нагрузка составляла 25 г.

Результаты измерения микротвердости образцов представлены в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2. Результаты измерения микротвердости образцов

Состояние	HV 0,025
Закалка в газе	210,5 ± 7,03
Закалка в газе + старение	458,1 ± 7,69
Закалка в газе + ХПД	247,2 ± 7,63

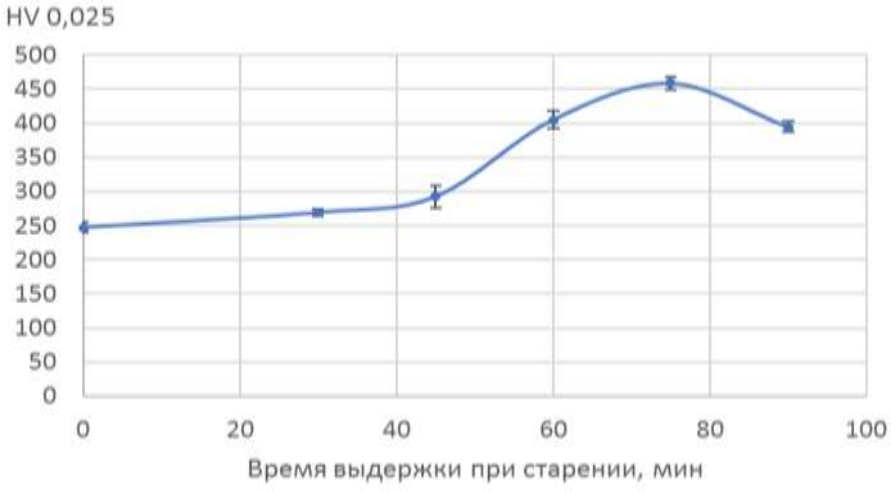


Рис. 5. Кинетика изменения микротвердости БрБ2 при старении после ХПД

При одном и том же значении времени выдержки при старении (90 минут) твердость недеформированного образца выше, чем образца после ХПД. Это можно объяснить тем, что процесс распада деформированного твердого раствора проходит быстрее, чем недеформированного. При деформации увеличивается количество дефектов, которые ускоряют процессы диффузии и облегчают зарождение областей новой фазы. Максимальная твердость образца после ХПД достигается при выдержке 75 минут.

Выводы:
1. Результаты экспериментов подтверждают, что при охлаждении в среде азота высокого давления происходит закалка бериллиевой бронзы.
2. Холодная пластическая деформация бериллиевых бронз ускоряет процессы распада при старении.

Литература
Lior N. The cooling process in gas quenching // Journal of materials processing technology. - 2004. - pp. 1881–1888.
Пастухова Ж.П., Рахштадт А.Г. Пружинные сплавы цветных металлов / под ред. Ж.П. Пастуховой. - М.: Металлургия, 1983.– 364 с.
Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1971. – 496 с.

РАЗРАБОТКА ПОРИСТОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТА КОБАЛЬТА

Анна Алексеевна Соловьёва

Студент4курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.В. Кульбакин,
научный сотрудник ИМЕТ РАН

Одной из современных проблем фундаментального материаловедения является разработка пористой керамики функционального назначения, используемой для решения некоторых прикладных задач мембранной технологии. В частности, пористая керамика может быть применена при концентрировании жидких и газообразных сред как непосредственно в качестве рабочего элемента, так и в виде носителя-подложки для плотной и селективной кислородопроницаемой ионно-транспортной мембраны (ИТМ) [1]. При создании асимметричных систем «пористая подложка/плотная ИТМ» важна химическая и термическая совместимость материала ИТМ с данной подложкой, ее микроструктура (требуемая архитектура и иерархия пор) и приемлемые механические свойства, а также стабильность в условиях эксплуатации, в связи с этим, разработка материала конкретной пористой подложки должна учитывать эти необходимые аспекты.
В настоящей работе в качестве материала пористой подложки был выбран Co_2SiO_4 со структурой оливина, который, как ожидается, химически и термически совместим с ИТМ для получения особо чистого кислорода на основе Co_3O_4 – 36 масс.% Bi_2O_3, ранее показавшей высокую кислородопроницаемость и рекордную селективность кислорода по отношению к азоту при 790…850 °С [2]. Рассмотрена роль предыстории получения фазы силиката кобальта, поскольку имеющиеся литературные данные ее синтеза недостаточны и противоречивы [3]. Проведен поиск оптимальной методики получения пористой керамики на основе Co_2SiO_4 при варьировании скорости нагрева, температуры и времени обжига, а также доли вводимого порообразователя (графита), изучены механические свойства (микротвердость по Виккерсу и предел прочности при трехточечном изгибе) полученной керамики, исследована микроструктура, открытая и закрытая пористость образцов. Показано влияние пористости на механико-прочностные свойства, предложены способы улучшения механических характеристик. В дальнейшем планируется нанесение плотной тонкопленочной мембраны на основе Co_3O_4 – 36 мас.% Bi_2O_3шликерным литьем на пористую керамическую подложку из Co_2SiO_4и проведение ресурсных испытаний кислородопроницаемости и селективности асимметричной ИТМ.

Литература
1. *Zhu X., Yang W.,* Mixed conducting ceramic membranes: fundamentals, materials and applications.Berlin,Springer, 2017. - 367 p.
2. *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. - V. 8. - P. 22324-22329.
3. *Zabdyr L.A., Garzel G., Fabrichnaya O.B.,* Phase equilibria in the CoO-SiO_2 system // CALPHAD. - 2003. - V. 27. - P. 127-132.

УДК 546

РАЗРАБОТКА БИОСОВМЕСТИМОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА С ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ИЗ ТИТАНА

Мария Андреевна Сударчикова

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Г. Колмаков,
доктор технических наук, заместитель директора ИМЕТ РАН

В медицине металлы и сплавы играют важную роль в качестве имплантируемых материалов. С появлением никелида титана (TiNi), который обладает высокими физико-механическими свойствами (эффектом памяти формы, соблюдением закона запаздывания и сверхэластичностью), появилась возможность разработать имплантаты, практически для всех областей медицины.

Сплав из никелида титана выбран как наиболее эффективный материал благодаря четко выраженному эффекту памяти формы, механическим свойствам, которые максимально приближают к тканям организма, для изготовления медицинских изделий типа «стент», которые применяются в области малоинвазивной хирургии. При этом наноструктурирование материала позволяет улучшить механические и геометрические характеристики производимого из него изделия.

Однако недостатком материала является наличие в объеме и на поверхности сплава ионов никеля, токсичного для организма (вызывающего аллергические реакции, оказывает концерогенное и мутагенное воздействие, повреждение ДНК, РНК, возникновение кислородных радикалов и так далее), контактирующего с физиологическими тканями и жидкостями. Более того, протекание коррозионного процесса в агрессивных (в т.ч. биологических) средах может приводить к нарушению функционирования изделий из никелида титана как в результате разрушения, так и ухудшения физико-механических характеристик из-за изменения химического состава поверхности.

В связи с этим возникает необходимость в создании композиционного материала на основе никелида титана с поверхностным слоем, обладающим высокой коррозионной стойкостью, препятствующим контакту никеля с окружающей средой и, желательно, обеспечивающим повышение комплекса физико-механических характеристик. В качестве такого барьера может быть выбран титан, так как он обладает высокой биологической совместимостью, стойкостью к воздействию коррозионных сред, а также гальваническим подобием никелиду титана, схожим коэффициентом теплового расширения.

Целью данной работы является создание новых слоистых биосовместимых композиционных материалов на основе наноструктурированного сплава NiTi с эффектом памяти формы и сверхэластичностью и поверхностным слоем из титана для изделий медицинского назначения типа "стент" со значительно повышенным комплексом эксплуатационных характеристик.

Формирование одномерных композитов «подложка – поверхностный слой» проводилось на высоковакуумной многофункциональной системе напыления с использованием метода магнетронного распыления. Процесс проводился в вакуумированной камере из нержавеющей стали. Сама установка оснащена турбомолекулярным и форвакуумным насосами, ионным источником, который способен очищать, протравливать подложки и выполнять ионное ассистирование при осаждении вещества на подложку.

Оптимальные технологические условия для формирования биосовместимых композиционных материалов: 30 мин напыления на участок поверхности, дистанция напыления 15 см, мощность распыления 70% от максимально возможной. Согласно микродифракционной картине, энергодисперсному и рентгеноструктурному анализу объем материала представлен основой из B2-фазы TiNi и включенями интерметаллидов Ti_2Ni.

Проведенные исследования механических свойств биосовместимого композиционного материала показали, что данный метод позволяет не только получить барьер против контакта никелида титана и физиологической среды, а также способен выдерживать нагрузки при проявлении сплавом сверхэластичности, закона запаздывания и ЭПФ и обеспечивает прочную связь с объемом материала через переходные слои.

Литература

Гюнтер В.Э. и соавт. Имплантаты с памятью формы в медицине. Northampton, Massachussetts, USA: STT, 2002. – 234 с.

Гюнтер В.Э., Итин В.И. и др. Эффекты памяти формы и их применение в медицине. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992. – С. 170-176.

Гюнтер В.О., Ходоренко В.Н., Ясенчук Ю.Ф., Чекалкин Т.Л. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения. – Томск: Изд–во МИЦ, 2006. – 296 с.

Насакина Е.А. Разработка биосовместимых композиционных материалов на базе наноструктурированного никелида титана // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., 2014 Москва: Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук, 170 с.

Заболотный В.Т., Белоусов О.К., Палий Н.А., Гончаренко Б.А., Армадерова Е.А., Севостьянов М.А. Материаловедческие аспекты получения, обработки и свойств никелида титана для применения в эндоваскулярной хирургии // Металлы, 2011. - № 3. – С.47-59.

Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Баикин А.С., Колмаков А.Г., Солнцев А.К. Свойства наноструктурного никелида титана и композита на его основе. // Химическая технология, 2013. - № 1. - С. 14-23.

УДК 537.533.3, 66.087

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТОВ: УГЛЕРОДНЫЙ НОСИТЕЛЬ-НАНОЧАСТИЦЫ МЕТАЛЛОВ

Алена Эдуардовна Суфиянова

Студент 4 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

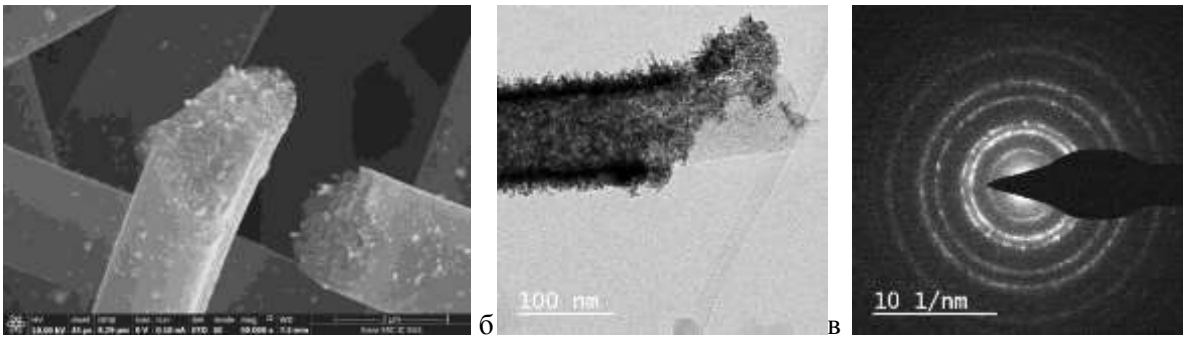
Научный руководитель: Жигалина О.М.
доктор физико-математических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведущий научный сотрудникФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

В последнее десятилетие во всем мире ведутся интенсивные исследования и поиск более совершенных, экологически чистых, альтернативных источников энергии. Солнечная энергия, ветер и вода являются перспективными источниками энергии, но у них есть практический недостаток - зависимость от времени суток или погодных условий. Среди альтернативных источников электроэнергии ведущая роль принадлежит водородным топливным элементам (ТЭ), в том числе элементам на твердополимерной протонпроводящей мембране [1]. Одна из наиболее простых окислительно - восстановительных реакций: окисление водорода H_2 и восстановление кислорода O_2 с последующим образованием воды (H_2O) является основой этого перспективного способа преобразования энергии и производства электроэнергии. При создании водородных ТЭ нового поколения необходимо обеспечить сбалансированное сочетание электронно-ионной проводимости, газопроницаемости и каталитической активности основных составляющих – электродов, а также уменьшать содержания благородных металлов-катализаторов, таких, как платина или палладий. Решение этой проблемы, как было показано в [1-3], лежит на пути создания новых композитов со сложной структурой, основными компонентами которых являются углеродные электропроводящие материалы и платина.

Метод электроспиннинга обеспечивает возможность формировать из углеродных волокон высокопористые маты, а последующая поверхностная и/или термическая обработка позволяет наносить на них частицы металлов. Комбинация химической и термической обработки дает возможность направленно изменять структуру, химический состав волокон и получать функциональные материалыдля работы в качестве газодиффузионных катодов (ГДК) [2] мембранно-электродного блока топливного элемента на протонпроводящей полибензимедазольной мембране.

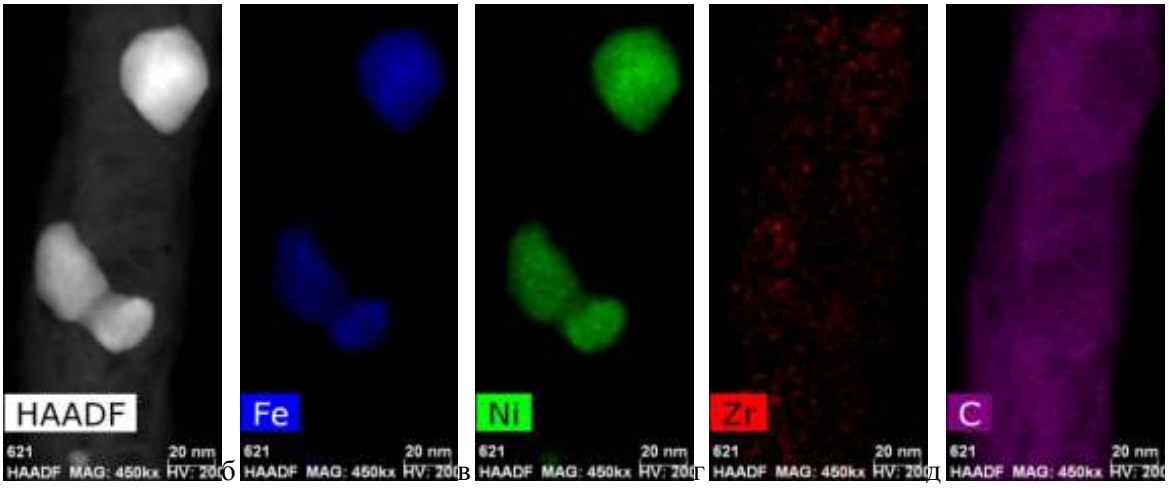
В связи с этим, целью данной работы было установление структуры нанокомпозитов УНВ@Me: углеродных нановолокон (УНВ) с сажей и наночастицами металлов (Me = Pt,Ni,Zr) с максимальной каталитической активностью. Для достижения поставленной цели былирешены следующие задачи: выявление методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) взаимного расположения и относительного распределениянаночастиц металлов,их морфологии и тонкой структуры.

Установлено, что добавки сажи увеличивают площадь поверхности УНВ. Показано, что в процессе нанесения и отжига частицы платины размером до 10 нм равномерно покрывают поверхность УНВ (рис. 1). Морфология наночастиц может быть различной в зависимости от условий нанесения. Нанесение при комнатной температуре приводит к образованию частиц игольчатой формы длиной до 20 нм и диаметром 1…3 нм, при повышенной температуре образуются частицы сферической формы, размером 2…3 нм.Установлено, что никель осаждается на поверхности частиц железа, образуя структуры типа ядро-оболочка размером 5…40 нм, частицы циркония имеют размеры не более нескольких нм и равномерно располагаются на поверхности углеродных волокон (рис. 2).



а б в

Рис.1. Структура нанокомпозитов: а)РЭМ-изображение пористых торцов волокон с частицами Ni; б-в) платинированное волокно и соответствующая электронограмма



а б в г д

Рис.2. Элементный анализ фрагмента отдельного волокна с частицами металлов: а) изображение с z-контрастом, б-ж) карты распределения отдельных химических элементов

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Литература

1. *Wang Y., Chen K.S., Mishler J., Cho S.C., Adroher X.C.*Appl. // Energ., 2011,v. 88, p. 981-1007.

2. *ПономаревИ.И., ПономаревИв.И., ФилатовИ.Ю., ФилатовЮ.Н., РазореновД.Ю., ВолковаЮ.А., ЖигалинаО.М., ЖигалинаВ.Г., ГребеневВ.В., КиселевН.А.* // ДАН. Сер. физ., 2013,Т.448. - № 6. - С. 670-674.

3. *Жигалина В.Г., Жигалина О.М., Пономарев И.И., Хмеленин Д.Н., Разоренов Д.Ю., Пономарев Ив.И., Киселев Н.А.* // Наноматериалы и наноструктуры - XXI век, 2012, № 4. - С. 36-40.

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АППРЕТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Елена Станиславовна Тепишкина

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.А. Нелюб,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время широко известно, что на качество изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) оказывает влияние множество факторов. Отличительным признаком данных материалов является возможность множественного выбора и варьирования технологии изготовления, сочетания исходных компонентов, различного вида вводимых в состав модификаторов, режима и способа отверждения. Вопрос влияния адгезии матрицы и наполнителя на прочность композиционных материалов является первостепенным. Наиболее эффективным способом усиления взаимосвязи компонентов является аппретирование. В качестве аппретирующих часто используют составы на основе эпокси-, амино-, винил-, хлорсиланов.

Аппретирование может проводиться путем нанесения состава на элементы наполнителя с последующей сушкой, а также с помощью прямого введения аппретирующего состава в матрицу.

Целью работы являлось исследование технологии аппретирования при производстве высокопрочных стеклопластиков.

В процессе работы были выполнены следующие этапы.

На основе анализа имеющихся литературных данных разработаны аппретирующие составы для каждого технологического способа производства стеклопластиков.

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) проведен термический анализ аппретирующих составов с определением температуры полного отверждения;

Методом вакуумной инфузии изготовлены образцы с использованием двух различных технологий аппретирования.

Проведен металлографический анализ образцов.

Определен уровень механических свойств полученных образцов по ГОСТ 4647–80 и ГОСТ 32659-2014 (ISO 14130:1997).

Показана зависимость механических свойств от технологии нанесения аппрета и его количества.

В результате исследований установлено, что оптимальной технологией аппретирования по показателям прочностных характеристик при производстве высокопрочных стеклопластиков является введение аппрета в эпоксидное связующее. Данный способ не требует дополнительных операций сушки и удаления влаги с поверхности волокон, что позволяет сократить время изготовления.

Все исследования проводились на базе МИЦ КМ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

.

Литература

1. *Каблов Е.Н.* Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. - 2012. - № 8. - С. 7–17.

2.*Каблов Е.Н.* Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2008. - № 3. - С. 2–14.
3.*Бейдер Э.Я., Малышенок С.В., Петрова Г.Н.* Композиционные термопластичные материалы – свойства и способы переработки // Пластические массы. - 2013. - № 7. - С. 56–60.
4. *Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф.* Влияние аппретов на свойства термопластичных стеклопластиков //Труды ВИАМ. Электрон. журн. 2014. №9. Режим доступа http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=712 (дата обращения 15.12.2016)
5. *Чуднов И.В., Ахметова Э.Ш., Малышева Г.В.*Особенности исследования свойств гибридных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Материаловедение. - 2013. – № 5. – С. 22-25.
6.*Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Шимина Ю.Ю.* Оценка температур фазовых переходов полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Клеи. Герметики. Технологии. - 2014. – № 6. – С. 29-33.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЗЬБЫ

Тянь Цзиньхуа

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университетим. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Для повышения надежности резьбовых соединений необходимо соблюдение ряда требований: высокая износостойкость и прочность витков резьбы, усталостная долговечность витков и стержня резьбы; высокая твердость поверхностного слоя с сохранением вязкой сердцевины витков; оптимальная высота и форма микронеровностей поверхностного слоя; мелкодисперсная структура поверхностного слоя; благоприятная (радиусная) форма основания резьбы; оптимальное расположение волокон металла; сжимающие остаточные напряжения во впадине; защита резьбы от коррозии и водородной хрупкости; ремонтопригодность и сохранность.
Целью данной работы является формирование оптимальной структуры и высоких механических свойств резьбы за счет применения электромеханической обработки.
Для данного исследования были взяты образцы труб из стали 38Г2С. Объектами исследований являлись резьбовые участки ниппеля насосно-компрессорных труб (НКТ) 60,73,89 из сталей 37Г2С, 38Г2Ф.
Выявлено получение специфической структуры и текстуры волокон вдоль резьбового профиля; изменения микрогеометрии (параметр шероховатости составил 1,25...0,63 мкм).
Электромеханическая обработка использовалась как заключительная обработка резьбовой поверхности НКТ и позволила за один проход инструментального ролика получить градиентный слой высокой твердости, заменяя при этом две операции - закалку и шлифование.
Выполненная работа позволит повысить ресурс и надежность, снизить трудоемкость изготовления и восстановления НКТ в нефтегазодобывающих предприятиях.

Литература

1.*Федоров С.К., Федорова Л.В*. Электромеханическая обработка // РИТМ. – 2012. – №2(70). - с. 14-16.
2. *Федорова Л.В., Федоров С.К., Курамшин Ю.Н., Артемьев М.А.* Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка резьбы насосно-компрессорных труб. // Бурение и нефть. – 2006. - №1, с.10-12.

3.*Федоров С.К., Сараев В.Т., Клюев Ф.К.,* Технологии для упрочнения деталей насосно-компрессорного оборудования//Научно-технический вестник ОАО«РОСНЕФТЬ».-2007. - №3. - с. 36-38.

УДК 621.789

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА И СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ РЕЗАНИИ

Аброр Сатторович Холов

Студент 4 курса
кафедра «Материаловедение в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: А.Г. Дегтярева,
ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Традиционно для получения необходимых свойств материала проводят термическую обработку в печах, которое занимает очень длительное время. Было установлено, что термическую обработку для упрочнения поверхности материалов можно провести за счет теплоты трения при обработке металла резцом деформирующим резанием. Данный способ позволит за очень короткое время провести термическую обработку металла, при этом скорость нагрева металла составит около 2000000 °С/с, а скорость охлаждения порядка 2000 °С/с. Для регулирования нестационарных температурных полей при таком скоростном нагреве был разработан алгоритм и программное обеспечение.

В работе приводится подробный аналитический метод расчетов температурных полей для процесса резания лезвийным инструментом. Детально рассматриваются формы тепловых источников при резании, возможность и необходимость схематизации как источников тепла, так и формы взаимодействующих тел. Расчеттемпературы в зоне первичной пластической деформации выполнен с учетом взаимного влияния температуры навеличину сдвиговых напряжений в этой зоне. Установлено, что закон распределения интенсивности источникатрения по задней поверхности обуславливается характером изменения касательных напряжений трения и малоотличается от равномерного. Предложено точное решение задачи расчета температуры в полупространстве отдействия прямоугольного источника тепла постоянной интенсивности. Таким образом, стало возможным определить постоянные интенсивности тепловых потоков на передней и задней поверхностях. Проведена проверка гипотезы о постоянстве этих интенсивностей тепловых потоков. Для этого каждый итоговый тепловой источник былпредставлен как комбинация элементарных равномерных источников тепла.

Исследованиями установлена большая неравномерность распределения интенсивности тепловых источников, которые действуют на поверхностяхрежущего инструмента. Это дало возможность выявить новые закономерности распределения температуры напередней и задней поверхностях инструмента при различных комбинациях коэффициентов теплопроводностиобрабатываемого и инструментального материалов, а также износа инструмента. Установлена существенная рользаторможенного тела на передней поверхности на величину и направление тепловых потоков на передней и задней поверхностях – в инструмент или в заготовку – и в конечном результате – на температуру контактных поверхностей режущего инструмента.

Исходный код написан на языке программирования Python.Приведены зависимости температурных полей от угла сдвига, переднего угла инструмента, скорости резания, длины

контакта и ширины ребра.Это позволило выработать рекомендации по выбору оптимального инструментального материала для обработки заготовок с различной теплопроводностью.

Литература

Резников А. Н., Резников Л. А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение,1990. - 288 с.
Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение,1981. - 279 с.

УДК 621.785.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННОЙ СТАЛИ 18ХГТ РАЗЛИЧНОЙ ТВЁРДОСТИ

Полина Игоревна Чернышова

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана
Научный руководитель: С. А. Герасимов,
Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Успешное решение одной из основных задач машиностроения - повышение надёжности, точности и долговечности машин и приборов – тесно связано с проблемой износостойкости промышленных материалов, базирующейся на комплексном использовании достижений механики, физики, химии. Одним из основных методов повышения износостойкости является химико-термическая обработка поверхностей изделий. Насыщение поверхности сталей и сплавов углеродом для получения высокой поверхностной твёрдости, износостойкости, усталостной прочности и других характеристик широко применяется в самых различных отраслях промышленности. Данная работа посвящена исследованиям зависимости триботехнических характеристик (износостойкости, коэффициента трения) от структуры, толщины и твёрдости цементованного слоя стали 18ХГТ.

Исследуемые материалы

1.Исследовались образцы конструкционной легированной стали 18ХГТ.

Рис. 1. Образцы исследования

2. Образцы подвергались газовой цементации в электропечи СШЦМ 8.12/9И1 при температуре 930°С в течение 13 часов. После цементации проводили термическую обработку по различным режимам с целью получения различной твёрдости поверхности и дальнейшего исследования.
3. Твердость измеряли по методу Роквелла при нагрузке 150 кг.
4. Микроструктуру исследовали на металлографическом микроскопе Olympus после травления в 5% спиртовом растворе HNO_3.
5. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Таблица 1. Значения твёрдости на поверхностях образца

Образец	Твердость цилиндрической поверхности, HRC	Твердость торцев, HRC
№1	37…47	45…50
№2	43…55	53…58

6. Испытания на износостойкость проводились по методу поверхностного трения/изнашивания.

Выводы:

В ходе исследований были получены различные значения твёрдости на одном и том же образце на разных поверхностях. После проведения анализа штатной технологии цементации и последующей термической обработки выявлены возможные причины разности показателей твёрдости. Были проведены испытания на износостойкость и установлена зависимость триботехнических характеристик от структуры и твёрдости цементованного слоя.

Литература

Тушинскнй Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. Новосибирск: Наука. 1990. 306 с.

Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение. 1982.212с.

ВЛИЯНИЕ АЛЬФИРОВАНИЯ И АЗОТИРОВАНИЯ СПЛАВА ВТ6 НА СТРУКТУРУ, ТОЛЩИНУ ПОКРЫТИЯ И ТВЕРДОСТЬ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ

Чэн Жуй

Магистр 2 года,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Н. Симонов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Титан и его сплавы характеризуются низкой износостойкостью. При трении титана происходит наволакивание металла, наблюдаются задиры. С целью повышения антифрикционных свойств детали из титановых сплавов подвергают специальной химико-термической обработке – альфированию (оксидированию).

Альфирование (оксидирование) - насыщение кислородом поверхности титановых сплавов при повышенных температурах (термическое оксидирование титановых сплавов). В результате окисления на поверхности образуется окисная пленка и слой твердого раствора кислорода в титане (альфированный слой).

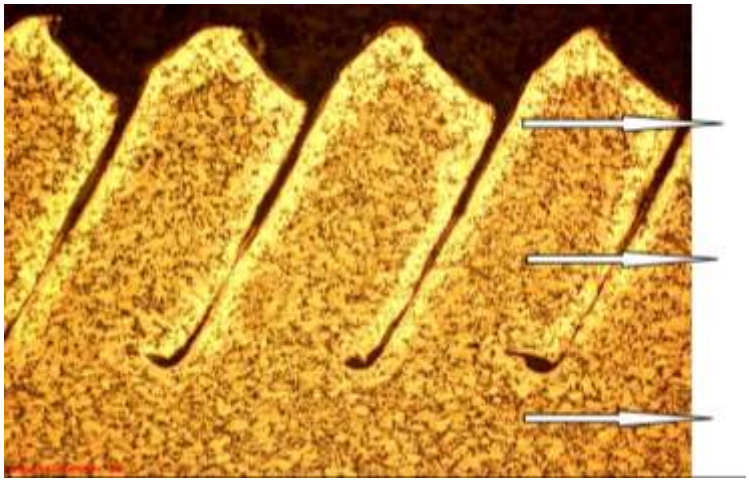
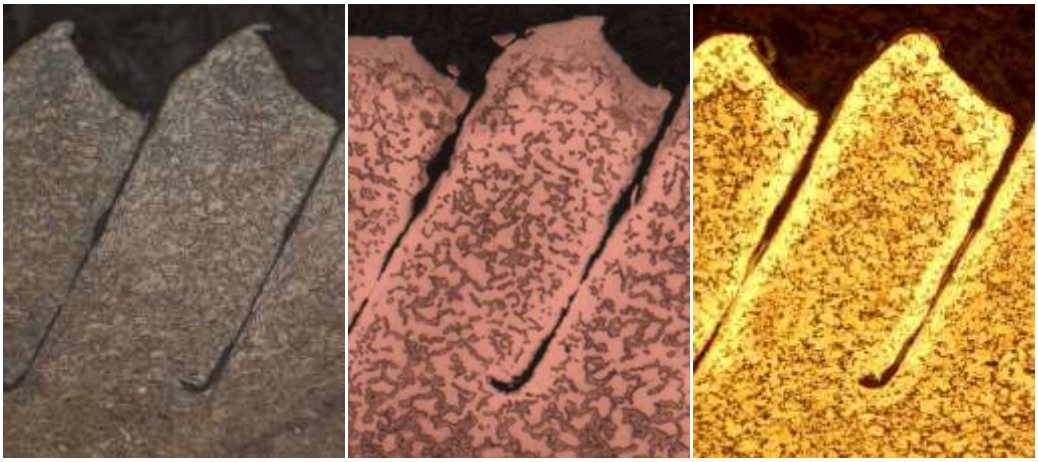


Рис.1.Структура сплава ВТ6 после ДР и альфирования (×200)

На размеры белого слоя в ВТ6 влияют следущие факторы: температура нагрева. метод обработки, время выдержки в печи, давление в печи, состав атмосферы и давление.
Белый слой повышает твердость и износостойкость детали с увеличением его толщины и образованием твердых стабильных интерметаллидов (нитриды и оксиды).
Режим азотирования: нагрев до830 °С и выдержка 20ч в печи при 0,5 атм.
Режим альфирования: нагрев до 800°С и выдержка 6ч в печи при 1 атм.
Структура титановых сплавов ВТ6 при ДР: в ребре при механо-термическом воздействии быстрого нагрева ВТ6 до β-Ti, происходит фазовое превращение из α+ β в β-Ti . При быстром охлаждении фазовое превращение не успевает пройти полностью.



а) б) в)

Рис.2.Структуры титановых сплавов ВТ6 при разных обработках (×200)
А-ДР, б-азотирование, в-альфирование

При азотировании в основе исходного сплава наблюдаются кристаллы разной окраски. Нарис. 2 тёмные области - кристаллы β-фазы, более светлые - α-фазы, причем преобладают кристаллы β-фазы. В зоне термического влияния произошла частичная закалка β-фазы с образованием кристаллов α'-фазы. В зоне воздействия резца это превращение прошло активнее, и практически не наблюдаются кристаллы β- фазы. Они наблюдаются преимущественно в средней зоне ребра. После дополнительного азотирования на границах ребер виден тонкий белый слой, это зона азотирования.
При альфировании белый слой имеет большую толщину, чем при азотировании.

Литература
Зубков Н. Н., Овчинников А. И., Васильев С. Г., Симонов В. Н., Хасянов М. А. Патент 2015202РФ. Способ упрочнения поверхности детали / (РФ) Опубл. 30.06.1994.
Васильев С.Г., Попцов В.В. Повышение твёрдости поверхности детали термическим воздействием с использованием деформирующего резания // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 2011. - № 12. - С. 37-43.
Вульф В.К. Термическая обработка титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1969. – 376 с.
Белов С.П., Брун М.Я, Глазунов С.Г. Металловедение титана и его сплавов. - М.: Металлургия, 1992 - 352 с.

УДК 621.785.545

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ 40ХН

Никита Алексеевич Юшин

Магистр1года
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 методов упрочнения поверхностного слоя, которые смогут понизить удельную стоимость нанесения покрытия, упростить технологию нанесения и составить конкуренцию западным наплавочным технологиям. Для достижения поставленных методов был предложен метод электромеханической обработки.
Цель настоящего исследования: провести сравнительный анализ разных способов упрочнения деталей нефтяного сортамента в целях импортозамещения.
Для достижения поставленной цели необходимо произвести сравнительные испытания различных видов обработки по критериям:
1) поверхностной твердости;
2) параметрам износостойкости (интенсивность изнашивания);
3) определение толщины слоя;
4) определение химического состава покрытия.
Для проверки эффективности ЭМО на участке трубы из стали 40ХН нанесен упрочняющий слой. На полученных из трубы образцах измеряли микротвердость по толщине упрочненного слоя. Данные результатов измерений приведены на рисунке 1 и 2.

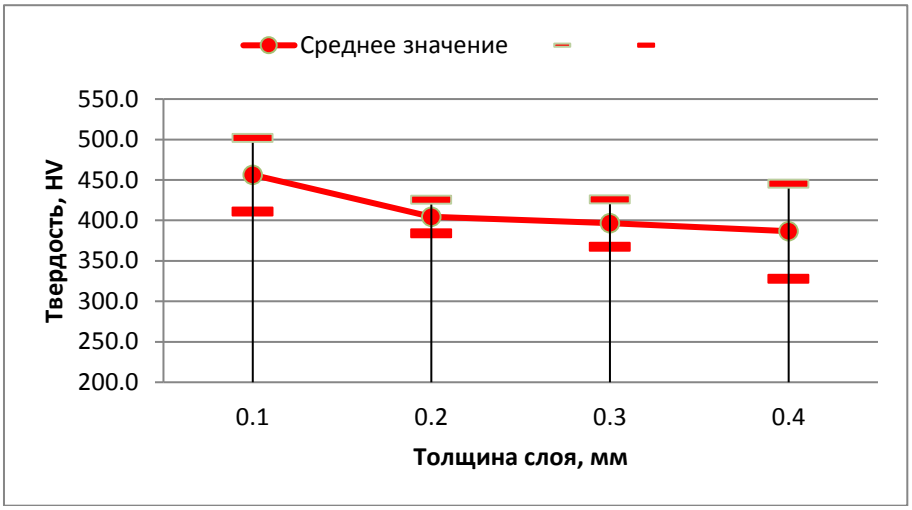


Рис. 1. Зависимости твердости HV обработанного ЭМО от толщины слоя

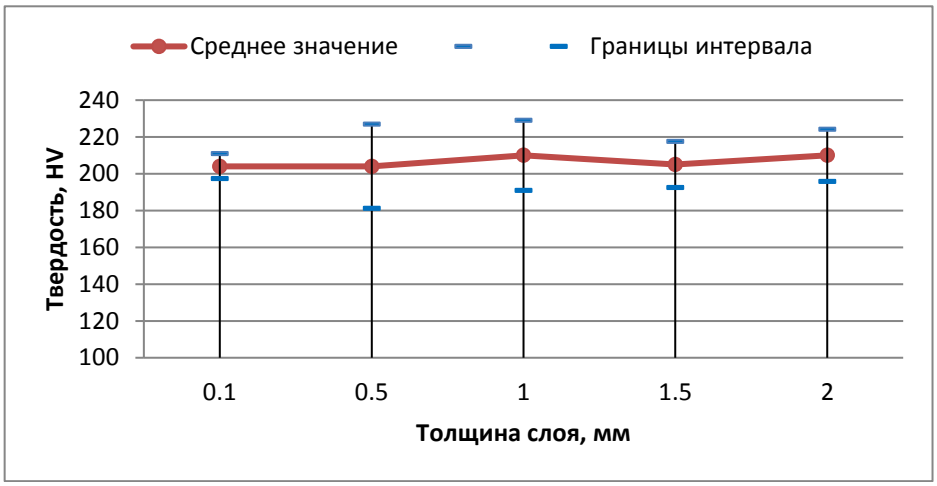
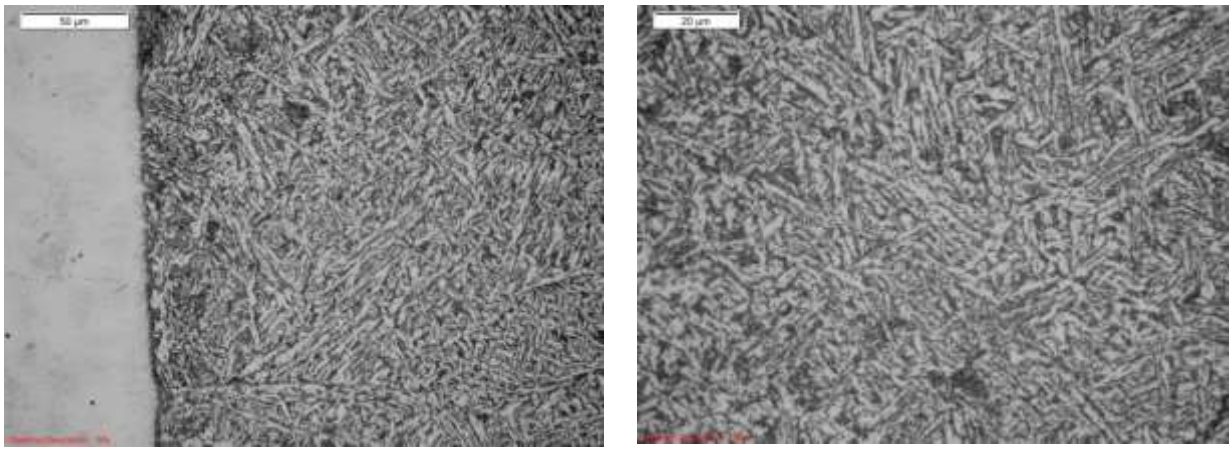


Рис. 2. Зависимости твердости HV необработанного ЭМО от толщины слоя

Также образцы с электромеханической обработкой исследовали под микроскопом для определения получившейся структуры и выявления дефектов. Структура после обработки представлена на рисунке 3.



а) *б*)

Рис 3. Структура, полученная после обработки ЭМО, при увеличении×50 (*а*) и ×100 (*б*)

Заключение.После обработки увеличилась поверхностная твердость. Улучшаются эксплуатационные характеристики поверхности.

Литература

Зуев Р.Н., Шпунькин Н.Ф. Вытяжка облицовочных деталей кузова автомобиля. – М.: МГТУ «МАМИ», 2006. – 152 с.
Шпунькин Н.Ф. Технология кузовостроения. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 184 с.
AutoForm 3.1 Workshop Manual. – M.: Autoform Engeneering GmbH, 2002. – 564 с.
Ярыш А.В. Проектирование штамповой оснастки на ОПП «АвтоВАЗ». – М.: САПР и Графика №2, 2012.

Секция IX

Промышленный дизайн

Председатель: **Терехова Наталия Юрьевна**
кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленный дизайн» (МТ-9)

УДК 37.018.5

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ДИЗАЙН-ПРОЕКТА СРЕДЫ КУЛЬТУРНО-ДОСУГОВОГО ЦЕНТРА В Г. ГОЛИЦЫНО

Александра Александровна Бухтоярова

Магистр 1 года,
кафедра «Промышленный дизайн»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.М. Михеева,
член Союза дизайнеров РФ, старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»

В современном образовании происходят значительные изменения, связанные с нарастающими темпами развития технологий и общества. Приоритетами становятся: установка на непрерывное обучение, компетентностный подход, главенствующая роль практических навыков и ранняя профориентация. Дополнительное образование детей в России рассматривается как единый, целенаправленный процесс, объединяющий воспитание, обучение и развитие личности за пределами образовательных учреждений. Основное предназначение данного процесса – удовлетворять постоянно изменяющиеся индивидуальные социокультурные и образовательные потребности детей.

В связи с этими реалиями в 2014-15 гг. на федеральном уровне принят ряд документов по концепции развития дополнительного образования:

– Концепция развития дополнительного образования детей (Распоряжение Правительства РФ от 04.09.2014 № 1726-р «Об утверждении Концепции развития дополнительного образования детей»).

– План реализации Концепции развития дополнительного образования детей на 2015–2020 годы (Распоряжение Правительства РФ от 24 апреля 2015 года № 729-р).

И хотя государственные документы регламентируют только детское дополнительное образование, проблема обучения в течение всей жизни и активного досуга актуальна сегодня для всех возрастов. Поэтому цель моего проекта – привлечь в образовательно-досуговые центры наиболее широкий слой населения (дети, взрослые, активные работающие люди, пенсионеры), создать условия для интересной, полезной и активной занятости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

дать людям возможность досуга иного качества;

создать комфортное пространство для творческого и интеллектуального досуга горожан;

стимулировать творческую энергию горожан для развития и капитализации человеческого потенциала;

повысить качество городской среды и улучшить жизнь горожан.

В России уже действует немало современных центров досуга и дополнительного образования, которые могут послужить примером для будущего проекта. Практически все они направлены на развитие способностей и приобретение разнообразных навыков, способствуют вовлечению детей в разнообразные сферы деятельности, формированию мышления нового типа, профессиональной ориентации.

Стратегическая инициатива «новая модель системы дополнительного образования»

Инициатива направлена на формирование устойчивой многоуровневой системы внешкольной работы с детьми, базирующейся на государственно-частном партнерстве и реализации современных программ дополнительного образования с целью выявления и развития таланта в каждом ребенке.

Детские технопарки «Кванториум»

Рис. 1. Занятие в кванториуме

Здесь создаётся среда ускоренного развития технических способностей детей; пространство интеллектуальной смелости;условия для формирования изобретательского мышления; опережающие технологии развития детей; платформа создания нового российского образовательного формата для детей в области инженерных наук, основанного на проектной командной деятельности. На сегодняшний день уже открыто 24 таких центра в разных городах России и планируется дальнейшее развитие детских технопарков.

Семейные досуговые центры «Мастерславль» и «Мастерград»

В семейных досуговых центрах профориентации «Мастерславль» и «Мастерград» дети от 4 до 14 лет смогут познакомиться с основами более чем 100 профессий, чтобы выбрать направление, которое подходит им больше всего. На территории парка расположены 60 мастерских, каждая из которых создана как реальный объект городской инфраструктуры.

Рис. 2. Город Мастерславль: вокзальная площадь

Кидзания

Рис. 3. Улица города Кинзания

Детский парк игрового обучения, в котором все выглядит и функционирует, как в настоящем городе. И здесь дети пробуют себя более чем в 100 профессиях, получают полезные знания и практический опыт.

КидБург

Маленькая модель реального мира для детей от 1,5 до 14 лет. КидБург предоставляет возможность ребенку осознать свои склонности к будущей профессии и поверить в свои силы и способности.

Рис. 4. Введение в профессию в городе КинБург

Сеть интерактивных научно-развлекательных центров для детей и молодежи “ИнноПарк”

Рис. 5. Интерактивный музей науки

Интерактивный музей науки, в котором собраны несколько десятков интерактивных экспонатов, наглядно демонстрирующих действие законов физики и природы. Проект направлен на создание научно-познавательных музеев и других площадок с возможностью интерактивного умного досуга и продуктивного развития детей в игровой форме.

Экспериментаниум

Музей занимательных наук Экспериментаниум — это место для увлекательного изучения законов науки и явлений окружающего мира. Каждый может принять непосредственное участие в опытах и экспериментах. Более 300 интерактивных экспонатов музея наглядно рассказывают о механике, электричестве, магнетизме, акустике, демонстрируют оптические иллюзии, головоломки и многое другое.

Рис. 6. Музей наук Экспериментаниум

ZACOБОЙ в профессию

В большинстве школ профессиональным самоопределением занимаются учителя-предметники, которые сегодня имеют большую нагрузку в части образовательной программы и, зачастую, не обладают специальными знаниями по организации профориентационной работы.

«Мы предложили решение этой проблемы: освободить учителей от необходимости самостоятельно искать материалы для проведения мероприятий, создавать презентации и рисовать профориентационные стенды».

Культурный центр ЗИЛ

Сегодня это современный многофункциональный культурный центр, где регулярно проходят выставки, перформансы, спектакли, лекции, концерты и мастер-классы экспертов в разных областях науки, культуры и искусства, ориентированные на широкую аудиторию.

Здесь находится современная библиотека с открытым доступом, где представлены последние издательские новинки, несколько зон коворкинга с розетками и бесплатным wi-fi, а также уютные кафе и книжный магазин. В постоянном доступе стеллажи буккроссинга, куда можно принести уже прочитанную книгу и забрать понравившуюся. На сценических площадках представлены современные московские театральные и танцевальные постановки, а общественные конструктивистские пространства используются как место комфортного досуга, работы, общения и творческой реализации горожан.

Рис. 7. Интерьер культурного центра ЗИЛ

Московские культурные центры

«Московские культурные центры» — проект Департамента культуры города Москвы в рамках Года культуры 2014, направленный на модернизацию столичных домов культуры.

Всего в первом этапе реализации проекта «Московские культурные центры» на период 2014 года участвуют 6 учреждений: ГБУК г. Москвы «Дом культуры «Северное Чертаново», ГБУК г. Москвы «Дом культуры «Зодчие», ГБУК г. Москвы «Дом культуры «Дружба», ГБУК г. Москвы «Клуб «Современник», ГБУК г. Москвы «Дом культуры «Онежский», ГБУК г. Москвы «Центр культуры и досуга «Зеленоград».

Проект предполагает создание комфортного пространства для творческого и интеллектуального досуга горожан. В обновлённых культурных центрах откроются студии научно-технического творчества и дизайна; будут проводиться лекции и дискуссии на самые актуальные темы науки и техники, культуры и искусства; в афишах появятся концерты и спектакли ведущих московских мастеров искусств.

Такие и подобные им центры культурного досуга и дополнительного образования открываются в основном в крупных городах, преимущественно в Москве и Санкт-Петербурге. Периферия пока ещё мало охвачена этим движением.

Одна из проблем постсоветских городов — дефицит общественных пространств. На окраинах люди чаще проводят свободное время в супермаркетах и моллах, а не в культурном месте. И это не потому, что они не хотят развиваться духовно и морально, это связано с отсутствием таких мест. Дома культуры воспринимаются как пережиток прошлого, совершенно устаревшая “ржавая машина”, которая никому не нужна. Дома культуры строились для повышения культурного уровня советских людей, но время изменилось. Чтобы привлечь современную молодежь нужно реорганизовать и систему, и пространство. Дома культуры должны стать многофункциональными центрами, площадками для воплощения творческих инициатив горожан, местами для комфортного проведения времени, работы и общения.Пространство должно быть максимально полезно и заполнено, привлекать людей снова в дома культуры, предоставлять им современную среду для отдыха и самовыражения.

В действующих домах культуры сложился перевес в сторону изобразительных и исполнительских искусств. В основном здесь учат петь, танцевать, рисовать и пробовать свои силы в театре. И это прекрасно, но таким образом остаётся обделенной значительная аудитория, особенно подростки, которые находятся в группе риска и часто имеют совершенно иные интересы.

Самое важное, думаю, в моей работе — дать людям возможность досуга иного качества. К сожалению, не все жители отдаленных районов знают, что рядом с их домом есть Дома Культуры. А если и знают, то зачастую относятся к этому скептически, как к увядшему и унылому советскому наследию, где место дошкольникам и пенсионерам. Объяснять, почему нужны перемены, не приходится, поскольку это невероятно захватывающий процесс, дающий новые возможности. Да, есть всегда те, кому «и так все хорошо», и человек привычен ко всему приспосабливаться, но суть дизайна состоит в том, чтобы незаметно для самого человека изменить его жизнь к лучшему.

Небольшие Дома Культуры в спальных районах — это классические центры, которые объединяют местные сообщества, дают возможность горожанам общаться, творчески и интеллектуально развиваться, заниматься любимым делом в хорошей компании.

То, чего я хочу добиться, — удобные общественные пространства, открытость, понятная навигация, современный дизайн, возможность прийти поработать и пообщаться, свободный доступ к вайфаю, книгообмены. Чтобы на лекции в Дома Культуры приходили не только дети и пенсионеры — а сейчас это основная аудитория культурных центров, — но и взрослые активные работающие люди.

Мне кажется, такая аудитория — это максимально широкий срез, это в первую очередь люди, которым интересно жить и узнавать новое. Думаю, что таких людей большинство, независимо от района.

Литература

Детский центр творчества «Кидзания» [Электронный ресурс].
URL: https://kidzania.ru/ru (дата обращения: 26.12.16).
Музей занимательных наук «Экспериментариум» [Электронный ресурс].
URL: http://www.experimentanium.ru(дата обращения: 20.12.16).
Детский город мастеров «Мастерславль» [Электронный ресурс].
URL: http://www.masterslavl.ru (дата обращения: 14.11.16).
Детский центр творчества «Кидбург» [Электронный ресурс].
URL: http://kidburg.ru/moscow/about/(дата обращения: 14.12.16).
Сеть интерактивных научно-развлекательных центров для детей и молодежи
“ ИнноПарк” [Электронный ресурс].
URL: https://park-inno.ru/ (дата обращения: 20.12.16).
Архитектурный дайджест; статья об интерьерах ДК ЗИЛ [Электронный ресурс].
URLhttp://www.admagazine.ru/inter/13462_interery-dk-zil.php (дата обращения: 3.11.16).
ZACOБОЙ в профессию [Электронный ресурс].
URL: http://sarschool76.narod.ru/prezent_n_alieva.pdf (дата обращения: 17.11.16).
Руководство по оформлению школ студии Артемия Лебедева [Электронный ресурс].

УДК 74

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ПРИНЦИПОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДИЗАЙН ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СИСТЕМУ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ

Елена Анатольевна Еркович

Магистр 1 года,
кафедра «Промышленный дизайн»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Г.Брекалов,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Промышленный дизайн»

Вопрос внедрения принципов дизайн проектирования в инженерную подготовку поднимался и раньше, что создало предпосылки для последующего его более глубокого изучения.Интеграция в систему подготовки инженеров принципов и технологий дизайн проектирования является откликом на запросы современности.

В ходе решения задач дизайнер, сталкиваясь с проблемами инженерного проектирования, стремиться к эргономике объектов, сохранению полезных свойств и рациональности их использования.Одна из задач, которую успешно решает современный дизайнер, является обоснование новых подходов в проектировании с применением дизайнерских методов и инструментария.

Нормативные требования, предъявляемые к специалистам дизайнерам при их подготовке, находят пересечение с требованиями, предъявляемыми и к инженерам. Задачи, которые ставятся перед дизайнером в части организации проектной и информационно-технологической деятельности, требуют знаний предметных областей, в том числе промышленного производства, современных технологий.

Важно при выборе подходов интеграции принципов дизайн проектирования ориентироваться на современные тенденции развития промышленности, социальной сферы и экономики в целом. Так например Атлас новых профессий" (далее Атлас), являясь совместным проектом Агентства стратегических инициатив и Московской школы управления "Сколково", содержит перечень около 132 профессий, которые будут наиболее успешными в ближайшие 10-20 лет. Экспертами выделены тренды, описывающие изменения, которые будут одновременно происходить во множестве производственных и обслуживающих секторов экономики. Эти тренды требуют новых «надпрофессиональных» навыков, которые важны для специалистов самых разных отраслей. С одной стороны овладение такими навыками позволяет работнику повысить эффективность профессиональной деятельности в своей отрасли, а с другой стороны, дает возможность переходить между отраслями, сохраняя свою востребованность.

Освоение подходов дизайн проектирования сформирует новые компетенции инженера, что будет способствовать эффективности совместной работы дизайнера и инженера в ходе реализации проектов.

Литература

1. Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ. // Информационно справочная система Консультант [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/: (дата обращения: 01.11.2016).

2. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.09.2013 г. N 1061 "Об утверждении перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования». // Информационно справочная система Консультант [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/: (дата обращения: 01.11.2016).

3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. По направлению подготовки 54.03.01 Дизайн (уровень бакалавриата), утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11 августа 2016 г. N 1004. // Информационно справочная система Консультант [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/: (дата обращения: 15.12.2016).

4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. По направлению подготовки 13.54.04.01 Дизайн (уровень высшего образования магистратура), утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 марта 2016 г. N 255. // Информационно справочная система Консультант [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/: (дата обращения: 15.12.2016).

5. Правительство РФ Постановление от 15.04. 2014 г. N 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее

конкурентоспособности». Информационно справочная система Консультант [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/: (дата обращения: 15.12.2016).
6. Всемирная инициатива CDIO. Стандарты: информационно-методическое издание / Пер. с анг. и ред. А.И. Чучалина, Т.С. Петровской, Е.С. Кулюкиной; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 17 с. [Электронный ресурс]. URL: http://cdiorussia.ru/files/files/standarts_cdio_print.pdf /: (дата обращения: 10.01.2017).
7. Атлас новых профессий. [Электронный ресурс]. URL:). http://atlas100.ru/future/articles/rabota-budushchego-kakoy-ona-budet/: (дата обращения: 15.12.2016).

УДК 629.331.1

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОЙ АРЕНДЫ (КАРШЕРИНГ) ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ ПОЕЗДОК

Ирина Олеговна Косыгина

Магистр 1 года,
кафедра «Промышленный дизайн»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: М.М. Михеева,
член Союза дизайнеров РФ, старший преподаватель кафедры "Промышленный дизайн"

Время, когда каждый пользовался только тем, что ему принадлежит, постепенно уходит. И на смену этому времени приходит другая эпоха, в которой люди делятся друг с другом всем, начиная от квартир и заканчивая предметами мелкой бытовой техники. Делятся, разумеется, не безвозмездно, а за определенную плату, что порождает новую экономическую модель.
Экономика совместного потребления (sharing economy) – модель, основанная на коллективном использовании товаров и услуг, а также аренде вместо непосредственного владения [1]. Иногда удобнее платить за временный доступ к продукту, чем приобретать его. Эксперты говорят, что такая модель в будущем изменит мир благодаря своей простоте и доступности. В основе этой модели - продвинутые технологические платформы: сайты и мобильные приложения, посредством которых и осуществляется взаимодействие потребителей и поставщиков услуг друг с другом.
Одной из актуальных отраслей экономики совместного потребления по праву можно назвать транспортную отрасль, в которой распространяется свое название тренда "car sharing". Сегодня люди могут в прямом смысле слова "делиться" автомобилями.
Крупные города перенасыщены транспортными средствами. Жителям все менее удобно и выгодно владеть автомобилем из-за роста налогов, платы за парковочные места, рост цен на бензин, затрат времени на поездки, техобслуживания личного транспорта. И теперь, чтобы ездить на автомобиле, не обязательно приобретать его, можно просто взять его в краткосрочную аренду. Таким развивающимся трендом, основанным на совместном потреблении, и являются сервисы аренды автомобилей. Вы можете арендовать автомобиль на несколько часов, взять его в одном месте и вернуть в другом. Но принцип работы у них один - совместное пользование значительно упрощает жизнь тем, кто пока, в силу определенных обстоятельств, не владеет личным автомобилем.
Один такой «общественный» автомобиль заменяет, по различным оценкам, от 8 до 15 личных авто [2]. Это, в перспективе, может упростить муниципальным властям организацию городского пространства, борьбу с пробками и предупреждение дорожно-транспортных происшествий, минимизировать экологический ущерб от выхлопных газов.

Удовлетворяя потребность населения в передвижении и минимизируя затраты на эксплуатацию машины (клиенты экономят до 70% денежных средств)[2], тренд имеет все основания стать доминирующим стандартом эффективного использования автомобиля в городе. Участники каршеринг-клубов отмечают 47 % рост использования общественного транспорта, 10 % рост количества поездок на велосипеде и 26 % рост пеших прогулок [2]. Это можно объяснять более эффективным использованием автомобиля, отказом от невынужденных поездок. Члены каршеринг-клубов, отказавшиеся от собственного авто, используют машины только тогда, когда они им действительно необходимы, и чаще ходят пешком.

Итак, каршеринг – это вид краткосрочной аренды автомобиля с поминутной или почасовой оплатой, обычно используемый для коротких внутригородских поездок. Каршеринг предполагает возможность вернуть автомобиль в любом из пунктов обслуживания. Используя автомобиль, клиент оплачивает лишь фактическое время использования автомобиля. Оплату бензина, городских парковок, ремонта, страховок и мойки берет на себя компания - владелец автомобиля. Подобная форма проката объединяет преимущества общественного и личного транспорта, так как машины предоставляются по необходимости за невысокую арендную плату.

В данном исследование, я проанализировала уровень развития услуги каршеринг в России. В настоящее время в Москве работают 5 компании, предоставляющие данную услугу: YouDrive; Делимобиль; Anytime; Car5; BelkaCar. Основным отличием Московских компаний являются марки автомобилей, которые они предоставляют в аренду: в основном это седаны известных иностранных марок, таких как Hyundai, Kia, Skoda.

Для седанов, которые предоставляют Московские компании каршеринга, можно выделить следующие преимущества: вместимые; доверие водителей к известным брендам.

Недостатками данных автомобилей является: трудность найти место для парковки в городе; для предоставляющих компаний дороги в обслуживание и приобретении; неоправданные габаритные размеры автомобилей (по опросам, чаще всего каршерингом пользуется один человек); серийный автомобиль, не приспособлены для системы каршеринга (имеется много лишних элементов и отсутствуют необходимые); загрязняют окружающую среду.

Таким образом, можно сделать вывод, что автомобили, которые используют Российские компании, предоставляющие услуги каршеринга, не приспособлены для этого. Использование серийных автомобилей обходится для пользователей данной услуги не на много дешевле, чем заказ такси. Из чего появляется необходимость разработать дизайн-концепцию универсального транспортного средства для краткосрочной аренды для внутригородских поездок, которое будет отвечать потребностям города и его населения.

Для полного понимания услуги каршеринг, я проанализировала тренды, которые существуют в этой области, и выделила три основных:

электромобили;

создание модульных парковок;

святящиеся автомобили.

Главным трендом в развитии автомобилей для каршеринга, в основном в зарубежных странах, являются электромобили. Разработкой занимаются такие компании как General Motors, Nisan, Toyota. Стоит отметить, что в основном это автомобили имеют небольшие габаритные размеры и рассчитаны на 1-2ух пассажиров (рис.1).

Рис.1. Электромобили для каршеринга иностранных компаний.

Аккумулятор составляет треть стоимости электромобиля. С падением цен на аккумуляторы, популярность электромобилей будет расти. Уже сегодня затраты на литий-ионные аккумуляторы упали на 65% с 2010 года, до $350 за киловатт-час. Эксперты предполагают, что к 2030 году киловатт-час будет стоить уже $120, и цена на аккумуляторы продолжит снижаться с появлением новых химических технологий.

Таким образом, электромобили – адекватная замена автомобилей с ДВС уже сегодня. Для услуг каршеринг электромобили особенно привлекательны (что видно из опыта иностранных компаний), так как их использование позволяет компаниям, предоставляющим данную услугу, экономить на обслуживание и покупке автомобилей.

Второй тренд в сфере каршеринга – создание модульных парковок, которые располагаются рядом с метро и остановками, для удобной пересадки. Это схоже с московскими пунктами для аренды велосипедов. На сегодняшний день существуют различные концепты решения данной задачи [4]. Например, разработанный автомобиль и парковочные места для электромобилей в Массачусетском техническом университете (рис.2).

Рис.2. Концепт автомобиля и парковочного места Массачусетского технического университета.

Модульные парковки для каршеринг автомобилей, расположенные рядом со станциями метро и остановками позволят:

пользователям – мобильно пересаживаться с общественного транспорта на автомобиль;

компаниям, предоставляющим услугу каршеринг, – экономить средства, которые сейчас уходят на оплату парковок;

при использование электромобилей, модульные парковки позволят заряжать транспорт во время стоянки.

Следующий тренд в дизайне автомобилей – это светящиеся автомобили.

Данными разработками особенно прогрессивно занимается немецкое инженерное бюро EDAG (Automotive Engineering Experte international) [5]. Один из разработанных таким образом автомобиль – «Electric light car sharing concept» (рис.3).

Рис.3. Святящийся автомобиль для каршеринга «Electriclightcarsharingconcept» компании EDAG.

Светящиеся автомобили имеют множество преимуществ. Прежде всего – это безопасность, такаю машину всегда видно на дороге. Также, появляется множество дополнительных возможностей: размещать информационные знаки или рекламную информацию. Благодаря данной технологии, можно «общаться» с автомобилем не через телефон, а напрямую, ещё даже не сев в него (что особенно удобно для каршеринга).

Таким образом, было проанализирована сегодняшняя экономическая ситуация и тенденции её развития. Выявлена сфера услуги, которая в будущем будет динамично развиваться и ею является услуга каршеринга. Выявлены недостатки российских компаний, предоставляющих данную услугу и сделан вывод о необходимости разработки дизайн-концепции универсального транспортного средства для краткосрочной аренды для внутригородских поездок, которое будет отвечать потребностям города и его населения. Также изучены и проанализированы основные тенденции развития автомобилей в мире, применительно к каршеринг автомобилям.

Литература

Экономика совместного потребления [Электронный ресурс] // Официальный сайт ИноСМИ.ру. URL: http://inosmi.ru/economic/20160723/237300643.html (дата обращения: 15.01.2017).

Каршеринг [Электронный ресурс] // Официальный сайт Российская газета. URL: https://rg.ru/2015/02/03/avto.html (дата обращения: 15.01.2017).

Щетина В.А. Электромобиль. Техника и экономика. Л.: Машиностроение. 1987.

Smart Tower - вертикальная парковочная система с функцией подзарядки [Электронный ресурс] // Официальный сайт InFuture. URL: http://www.infuture.ru/article/3767 (дата обращения: 15.01.2017).

EDAG [Электронный ресурс] URL: http://www.edag-light-car.com/#/home (дата обращения: 15.01.2017).

УДК 629.457.2

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-ПРОЕКТА СОВРЕМЕННОГО СКОРОСТНОГО РЕЛЬСОВОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА БАЗЕ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГОРОДНОГО И ГОРОДСКОГО СООБЩЕНИЯ

Ирина Олеговна Косыгина

Магистр 1 года,
кафедра «Промышленный дизайн»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.В. Кузовкин,
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне» (ВГТУ)

Характерным недостатком массовой автомобилизации населения крупных городов является сильная загрязнённость окружающей среды. Одним из наиболее эффективных способов изменить данное негативное влияние, связанное с использованием личного автотранспорта, является активное использование общественного транспорта. Это позволяет снизить дорожный трафик, уменьшить загрязнённость окружающей среды, а так же способствует уменьшению дорожно-транспортных происшествий.

В настоящее время основными направлениями в проектировании и эксплуатации общественного транспорта является экологичность использования, удешевление производства, удобство и безопасность пользования пассажирами. Из всех типов общественного транспорта под вышеперечисленные критерии лучше всего подходит рельсовый транспорт, работающий на электрической тяге – это трамваи и электропоезда.

Однако использование трамваев и электропоездов сопряжено с определенными трудностями. В первую очередь для трамваев – это отсутствие необходимой инфраструктуры в пригородах крупных мегаполисов. Он может передвигаться непосредственно только в центре города, где проложены пути и контактные сети. Электропоезда же, напротив, передвигаются только за городом. Так возникает социальная проблема – население пригородов не может быстро, без пересадок на вокзалах, добраться в город и обратно, что ещё хуже, электрички часто отменяют из-за низкого трафика пассажиров для электропоездов, так как это не выгодно компаниям перевозчикам.

Устранение данного недостатка заключается в создание рельсового общественного транспорта на базе дизель-электрического двигателя для пригородного и городского сообщения. Суть идеи заключается в том, что данный вид транспорта будет использовать инфраструктуру для трамваев, где она имеется, и работать от батарей и дизельного топлива, где она отсутствует.

Таким образом, цель заключается в разработке и проектировании рельсового общественного транспорта, работающего на электро-дизельном двигателе. Предполагаемое количество сидячих мест – 20-30 человек в вагоне. При этом транспорт будет являться экологически чистым, приспособленным для людей с ограниченными возможностями и развивать большие скорости при переходе на дизельный двигатель.

Практическая значимость разработки данного проекта заключается в развитии транспортной инфраструктуры крупных городов и их пригородов, что приведет к повышению мобильности населения. Местные администрации смогут предоставить населению новый эффективный вид общественного транспорта, который обеспечивает взаимосвязь с другими видами транспорта и позволяет пассажирам экономить финансовые средства. Пассажиры получат оптимальные беспересадочные сообщения без смены видов транспорта с высокой частотой движения и большим числом остановок.

Над решением данной задачи трудились, создавая новые виды трамваев, электропоездов, рельсовых автобусов, однако ни один вид транспорта не смог разрешить все проблемы

одновременно. Поэтому проектирование и создание такого транспорта актуально на сегодняшний день.

Исходя из анализа рынка иностранных и отечественных аналогов, а также потребностей пользователей были выделены основные требования к проектируемому рельсовому общественному транспорту на базе дизель-электрического двигателя для пригородного и городского сообщения. Ввиду масштабности задачи, которую обычно выполняет коллектив конструкторов и дизайнеров в течение нескольких лет, в данной работе был сужен и поставлен ряд задач, связанных с проектированием рельсового общественного транспорта, а именно:

разработка формы кузова с учётом аэродинамики при движении за городом и безопасности при внутригородских поездках;

рассмотрение основных характеристик, а также расположение гибридного двигателя и системы его охлаждения;

создание устройства для посадки и высадки людей с повышенными потребностями;

разработка оконных систем, дверных комплексов, конструкции и организации посадочных мест;

подбор материала для кузова и салона проектируемого рельсового транспорта;

определение цветовых аспектов интерьера и экстерьера транспорта.

Движение данного транспортного средства происходит за счёт работы гибридного двигателя, состоящего из двух агрегатов: дизельного и электрического двигателя. На рисунке 1 представлено расположение элементов гибридного двигателя в разрабатываемом рельсовом транспорте.

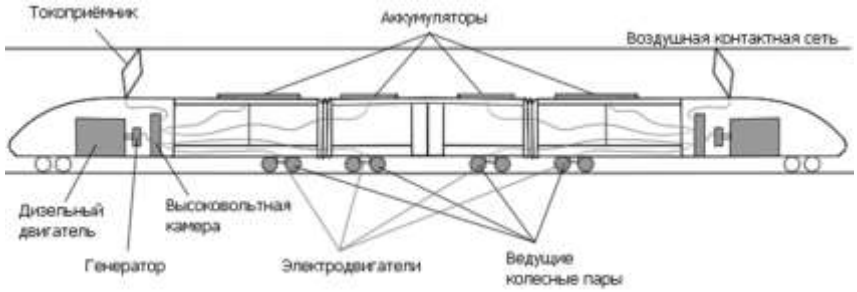


Рис.1. Расположение элементов гибридного двигателя в вагонах

Дизельный двигатель, генератор и высоковольтная камера могут располагаться как в двух крайних вагонах, так и в одном. Электродвигатели находятся на тележках с ведущими колесными парами (4 ведущих колёсных пары, 4 электродвигателя). Во время движения рельсового транспорта от дизельного двигателя, энергия передаётся на электромоторы через высоковольтную камеру, которые в свою очередь приводят в движение колёса. При движении поезда от контактной сети электромоторы соединяются с токоприёмником через высоковольтную камеру. Во время торможения часть энергии переходит в батареи, расположенные на крыше вагонов.

Для подбора дизельного двигателя и электромотора была рассчитана примерная необходимая мощность для движения рельсового транспорта от каждого из двигателей отдельно, с учётом сил основного сопротивления движения, действующие при перемещении по прямолинейному горизонтальному пути, обусловленные в основном взаимодействием колесных пар с рельсами и сопротивлением воздушной среды при отсутствии ветра. В результате расчётов были получены следующие значения: мощность одного из двух дизельных двигателей $W_1^{\text{диз.}} = 562$ кВт, мощность одного из 4-ёх электродвигателей $W_1^{\text{эл.}} = 70$ кВт.

Были подобраны дизельные двигатели с габаритными размерами 3700x1400x2200 и электродвигатели 311x31x30, что было учтено в дальнейшей разработке рельсового транспортного средства.

Учитывая проведённые исследования и рассмотренные ГОСТы, были определены габаритные размеры разрабатываемого рельсового транспорта (рис.2).

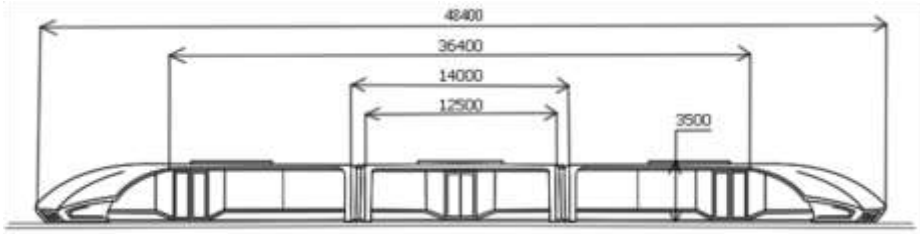


Рис.2. Габаритные размеры разрабатываемого рельсового транспорта

Разрабатываемый трамвай-поезд состоит из трёх вагонов: два головных, один промежуточный, которые соединяются между собой.
Головной вагон имеет необычную конструкцию, состоящую из двух частей: кузов вагона (стены, потолок и пол салона) и верхний «панцирь», придающий транспорту аэродинамическую форму (в программе AutodeskFlowDesign произведён расчет на распределение потоков воздуха и значение давления при движении вагона), что позволяет экономить расход топлива и электроэнергии и достигать высоких скоростей (рис.3).

Рис.3. Конструкция головного вагона

Промежуточный вагон, как и головной, состоит из двух частей (рис.4).

Рис.4. Конструкция промежуточного вагона

Для посадочных мест, с целью практичности и оптимизации пространства во время час пиков, предложены сидения «трансформеры». Отличительной особенностью является то, что при больших потоках людей в ДПО сидения складываются и откидываются к застеклённой стенке вагона. При этом обратная сторона поддона, на котором расположены сидения, имеет мягкую обивку, таким образом, при складывании сидений к стенке, образуется мягкий подоконник, для удобства людей во время час пиков. Отверстие, в котором пряталась мягкая сторона поддона закрывается специальной задвижкой (рис.5).

Рис.5. Сидения, складывающиеся к стене

Проектирование пассажирских сидений производилось с учетом антропометрических характеристик среднестатистического человека в положении сидя, что позволяет обеспечить пассажирам комфорт (рис.6).

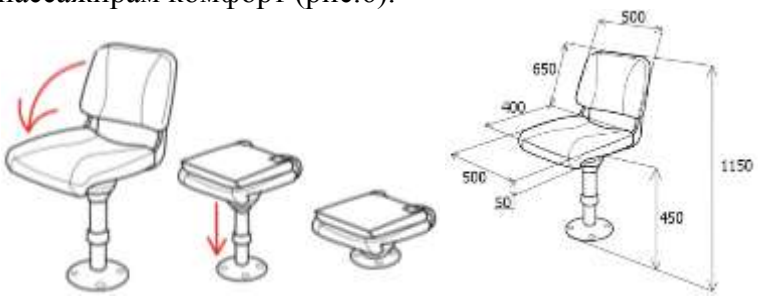


Рис.6. Сидения трансформеры

В разрабатываемом рельсовом транспорте низкопольные вагоны, поэтому для посадки людей с ограниченными возможностями используются выдвижные площадки. Они располагаются в дверных проёмах в специальном отверстии в полу.

Разработана специальная модель устройства для посадки инвалидов на колясках: четыре рельса, по которым передвигается ось на колёсах, на ней закреплены площадка и два маленьких электродвигателя (по краям), которые обеспечивают выдвижение площадки без нагрузки при нажатии кнопки в салоне вагона (рис.7).

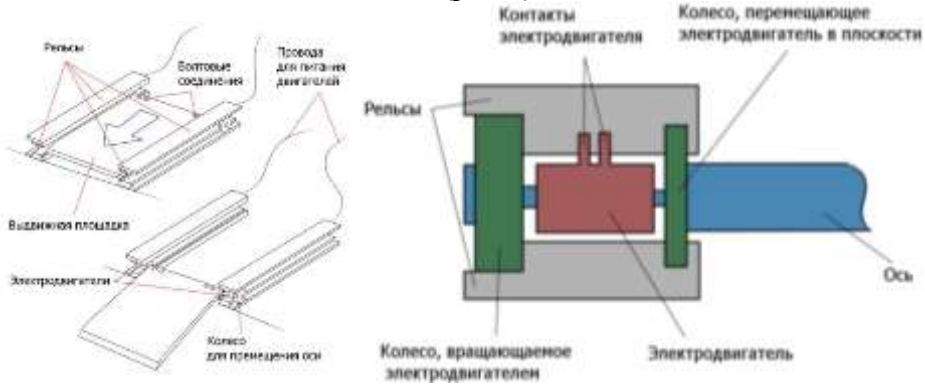


Рис.7. Площадка для посадки людей с ограниченными возможностями

Таким образом, в ходе работы разработан дизайн-проект рельсового общественного транспорта на базе дизель-электрического двигателя для пригородного и городского сообщения, который является экологически чистым, приспособленным для людей с ограниченными возможностями и развивает высокие скорости на требуемых участках маршрута (рис.8).

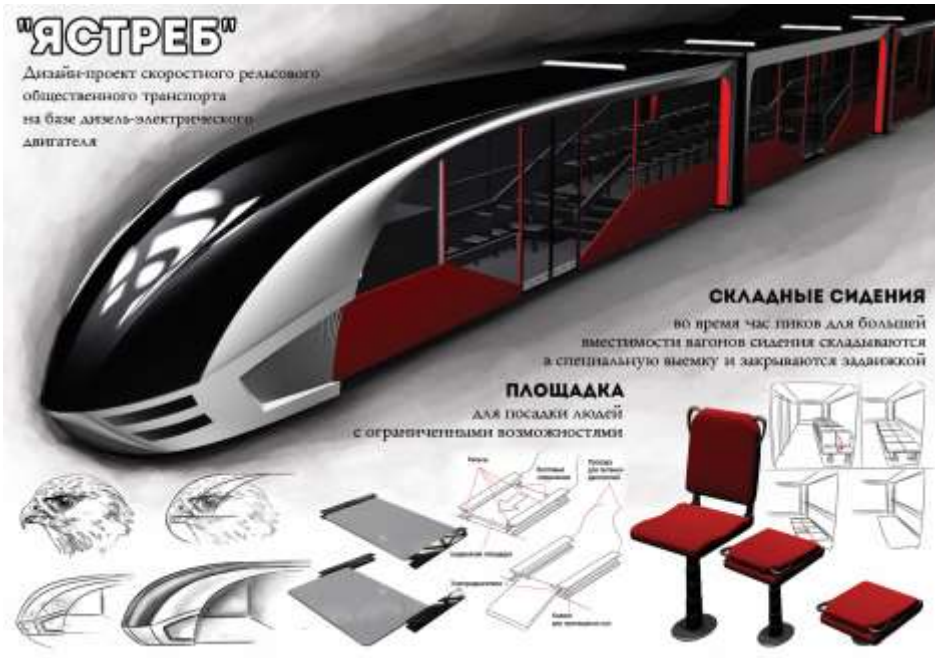


Рис.8. Дизайн-проект современного скоростного рельсового общественного транспорта на базе дизель-электрического двигателя для пригородного и городского сообщения

Практическая значимость разработки данного проекта заключается в комплексном развитии как данного средства передвижения, так и транспортной инфраструктуры крупных городов и их пригородов, что приводит к повышению мобильности населения.

Как итог, разработанное транспортное средство позволяет получить оптимальные беспересадочные сообщения без смены видов транспорта с высокой частотой движения и большим числом остановок, с минимальным загрязнением окружающей атмосферы, давая возможность пассажирам и компаниям-перевозчикам экономить время и деньги.

В дальнейшем планируется развивать и дорабатывать данный транспорт: его механические и эстетические аспекты. В перспективе: выпустить первый экземпляр, а затем ввести в массовое производство.

Литература

Максимов А. Н. Городской электротранспорт: учеб.пособие для вузов / А. Н. Максимов. – М.: Из-во Академия, 2004. – 256 с.

Пегов Д. В. Руководство по устройству электропоездов серии ЭТ2, ЭР2Т, ЭД2Т, ЭТ2М [Текст] / Д. В Пегов, П. В. Бурцев. – М.: Центр Коммерческих Разработок, 2003. - 184 с.

Просвирин Б. К. Электропоезда постоянного тока с электрическим торможением [Текст] / Б. К Просвирин. – М.: Трансиздат, 2000. – 328 с.

Мунипов В.М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды [Текст] / В.М. Мунипов. – М.: Изд-во Логос, 2001. – 351 с.

ДалекаВ.Ф. Практикум по технической эксплуатации городского электрического транспорта [Текст] / В.Ф. Далека, В.Б. Будниченко, В.И. Коваленко. – Харьков: Изд-во ХНАГХ, 2007. – 222 с.

УДК 72.036

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНАЛИЗМА НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСА МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

Анна Владимировна Соболева

Студент 1курса,
кафедра «Ядерные реакторы»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Т. И. Маслова,
старший преподаватель кафедры «Инженерная графика»

Актуальность темы исследования обусловлена интересом к стилевым особенностям зданий учебных корпусов как памятников архитектуры. Целью данной работы является рассмотрение принципов функционализма на примере здания Учебно-лабораторного корпуса МГТУ им. Н. Э. Баумана. Поставлены задачи изучения развития идей функционализма в мире, особенностей этого стиля и его принципов.

История развития функционализма берет своё начало с идей американской философии прагматизма, основанной Чарльзом Пирсом в конце 1870-х годов. После Великого чикагского пожара 1871 года постепенно набирает обороты новое направление в архитектуре, названное Чикагской школой. Её архитекторы создавали здания, соединяющие ясность композиции целого с выразительной пластикой деталей, отражающей логику конструкции. Одним из известнейших представителей школы является Луис Генри Салливан, создавшего формулу функционализма: «Форма всегда следует за функцией. Если не меняется функция, не меняется и форма»[1, с.7].

В Европе новый стиль первой усмотрела Германия. Адольф Лоос в статье «Орнамент и преступление» (1908) выдвинул идею о том, что здания и бытовые вещи совершенно не нуждаются в украшении орнаментом. Петер Беренс, один из основоположников современного дизайна и основатель «Мюнхенского Сецессиона» и германского Веркбунда, видел задачу нового течения в создании соответствующих веку техники предметов дизайна и функциональных сооружений из современных строительных материалов, таких как стекло и сталь.

На развитие стиля большое влияние оказало творчество Вальтера Гропиуса. В 1925 году он строит новое здание Баухауза, которое становится манифестом функциональной архитектуры, естественной и практичной.

Принципы функционализма были сформулированы в 1925 году французским архитектором швейцарского происхождения Ле Корбюзье [2]. Функционализм ориентирован на передовые технологии, новые материалы, современные методы промышленного производства. Главным средством художественного выражения идей Ле Корбюзье стал структурный железобетонный каркас, позволяющий свободно изменять расположение внутренних стен.

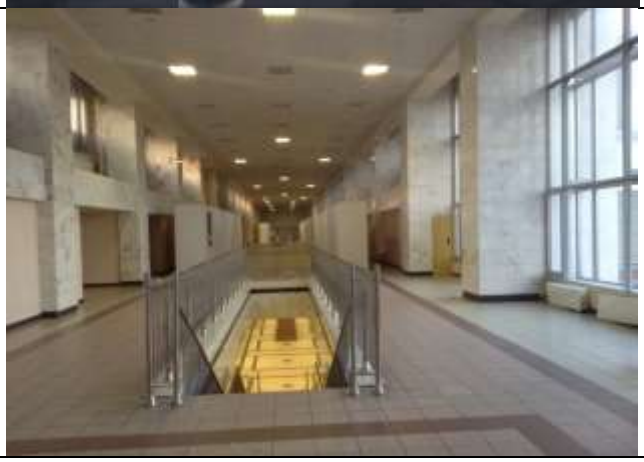
В Советский Союзфункционализм пришел в 1955 году вместе с постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве». В связи с этим архитектура утратила свою роль как искусства и была сведена до статуса инженерного дела. Изменения коснулись, прежде всего, жилой архитектуры, поскольку проблема с посемейным расселением оставалась нерешенной. Тем не менее, общественные здания строились зачастую по специальным заказам. В этот период были построены Кремлевский дворец съездов (1961), Дворец пионеров на Ленинских горах (1962) и другие сооружения.

В 1968 году было принято решение о строительстве на берегу Яузы Учебно-лабораторного корпуса при МГТУ им. Н. Э. Баумана. Из-за проблем с финансированием УЛК строили на протяжении трёх десятилетий: с 1974 года по 2004 год.

Этот учебный корпус соответствует своему функциональному назначению: он рассчитан на одновременный приём более 5 тыс. студентов. Здание имеет 11 этажей. В нём 100 аудиторий, 20 компьютерных классов, 19 лифтов, библиотека, 2 читальных зала, концертный актовый зал, конференц-зал и ряд других помещений.

Проиллюстрируем сформулированные Ле Корбюзье принципы функционализма на примере здания УЛК.

Таблица 1. Пять принципов функционализма.

Открытые опоры на нижних этажах здания. Опорные колонны выполняют основную несущую функцию. Между ними находится открытое пространство.	
Плоская крыша. (Ле Корбюзье предполагал, что технологические возможности гидроизоляции кровли позволяют увеличить функциональную площадь здания, превращая крышу в сад, площадку для игр и отдыха. Исходя из проблем безопасности, крыша УЛК для этих целей не используется).	
Свободная внутренняя планировка. Колонны позволяют планировке одного этажа фактически не зависеть от планировки остальных. (планировка первого, второго и третьего этажей кардинально отличается от верхних этажей).	

Свободная планировка фасада. Фасад свободно организован и не зависит от каркаса стены. Размеры и количество окон зависит от их функциональной необходимости в помещении.	
Ленточные окна. Окна располагаются единой непрерывной горизонтальной лентой вдоль всего здания, от чего освещение помещений равномерное.	

Таким образом, здание Учебно-лабораторного корпуса МГТУ им. Н. Э. Баумана построено в стиле функционализм. Это подтверждают принципы, визуализация которых на примере этого здания представлена в данной исследовательской работе. Изучение истории развития функционализма расширило наш кругозор, вызвало познавательный интерес к исследованию архитектурных стилей остальных зданий университета.

Литература

Вачьянц, А. М. Современная архитектура и дизайн. Элективный курс. 9-11 классы. Учебное пособие / А. М. Вачьянц. _ М.: Айрис-пресс, 2009. – 128 с.: ил. – (Профильное обучение).

Ле Корбюзье – человек и архитектор! //http://diletant.media/art_educational_museum_garage/32585975/

Секция X

Оборудование и технологии прокатки

Председатель: **Семенов Иван Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки» (МТ-10)

Ученый секретарь: **Миронова Мария Олеговна**
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки» (МТ-10)

УДК 621.771.23

СТАН 320 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Евгений Константинович Васильев

Магистр 2 года,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.О. Миронова,
заместитель заведующего кафедрой «Оборудование и технологии прокатки»

В работе была поставлена задача определения возможности производства из прецизионных сплавов на стане 320 холодной прокатки.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Сплав 42НХТЮ	**σ**в, [МПа]	**σ**т, [МПа]	**δ5**, [%]
ГОСТ 10994-74	1180-1570	980	10
Заготовка			
h0, мм	h1, мм	b0, мм	
4	3,6	200	

Препятствием к возможности производства, в первую очередь, является высокое значение упругой деформации клети. Именно по этой причине, основными расчетами в данной работе являются расчеты узлов стана на жесткость и прочность.

Чтобы проверить все возможные варианты работы стана, были проведены четыре расчета:

Отсутствие смазочной жидкости, исполнение валковой кассеты дуо с диаметром рабочего валка Dраб = 90 мм;

Наличие смазочной жидкости, исполнение валковой кассеты дуо с диаметром рабочего валка Dраб = 90 мм;

Отсутствие смазочной жидкости, исполнение валковой кассеты кварто с диаметром рабочего валка Dраб = 60 мм;

Наличие смазочной жидкости, исполнение валковой кассеты кварто с диаметром рабочего валка Dраб = 60 мм

В результате расчетов были получены такие данные как сила прокатки P, величина упругой деформации fΣ и жесткость c. Значения представлены в таблице 2 и 3.

Таблица 2. Результаты расчета с рабочим валком 90 мм.

Dраб= 90 мм	P,кН	fΣ, мм	c, кН/мм
Отсутствие смазки	1085	0,804	1350
Наличие смазки	1008	0,771	1310

Таблица 3. Результаты расчета с рабочим валком 60 мм.

Dраб= 60 мм	P,кН	fΣ, мм	c, кН/мм
Отсутствие смазки	845,2	0,632	1337
Наличие смазки	825	0,618	1334

Как видно из таблиц, величина упругой деформации fΣ во всех четырех случаях больше, чем необходимая нам величина обжатия h0-h1 = 0,4.

На основании результатов, можно сделать вывод о непригодности стана 320 холодной прокатки для производства полосы из прецизионного сплава 42НХТЮ при текущей компоновке оборудования. Для

осуществления деформаций материалов с $\sigma_в$> 1180 МПа необходимо провести мероприятия по увеличению жесткости конструкции стана.

Литература

1. Теория прокатки. Справочник. *Целиков А. И., Томленов А. Д., Зюзин В. И., Третьяков А. В., Никитин Г. С*. М., «Металлургия», 1982. 335 с.
2. *Королев А.А*. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1985. 376 с.
3. Расчеты рабочих клетей прокатных станов (методика и примеры): Методическое пособие по курсу "Оборудование цехов ОМД" *В.А. Шилов, Ю.В. Инатович*. Екатеринбург: УГТУ, 2000.

УДК 621.771.014

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МЕЛКОСОРТНЫХ СТАНОВ

Максим Владимирович Беккер

Студент 6 курса
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.О. Миронова,
заместитель заведующего кафедрой «Оборудование и технологии прокатки»

Производительность стана является одним из ключевых параметров работы предприятия. Она определяется, как правило, пропускной способностью рабочих клетей, учитывая при этом разные производимые профили, а также ряд факторов, способствующих или препятствующих увеличению производительности. К таким факторам относятся качество готовой продукции, то есть количество годных изделий, выходящих из последней клети стана; учет времени при перевалке валков, реконструкции стана, переход на автоматизированное управление основного и вспомогательного оборудования, организационные мероприятия. Помимо внутренних факторов, на производительность также влияет и спрос на определенный сортамент изделий. Известно, что заявленная производительность стана достигается за счет изделий большого диаметра (например, арматуры диаметром 18, 20, 22 мм), однако наибольшее распространение получила арматура №12, 14, 16.

В связи с этим существует необходимость повышения эффективности работы стана. Достигаться оно может следующими методами:

За счет увеличения фонда рабочего времени:

уменьшение количества переходов на другой калибр, а значит и увеличение стойкости валков;

уменьшение времени перевалки станов, автоматизация настройки стана;

уменьшение количество переходов на другой профиль;

увеличение темпа прокатки, то есть уменьшение пауз между выходом предыдущей и входом последующей заготовки;

За счет повышения количества выпускаемой продукции в единицу времени:

повышение скорости прокатки;

увеличение поперечного сечения заготовки;

применение слиттинг- процесса.

За счет повышения производительности нагревательной печи путем ее модернизации:

повышение интенсивности нагрева заготовок;

увеличение длины нагревательной печи.

Литература

1. *Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И.* Технология прокатного производства. -М.: Металлургия, 1994. -656 с.
2. *Целиков А.И., Зюзин В.И.*Современное развитие прокатных станов. -М.: Металлургия, 1972. — 399 с.

УДК 347.77.01

ПОРЯДОК ПОДГОТОВКИ И ПОДАЧИ ПАТЕНТОВ В РОССИИ

Дарья Дмитриевна Ярыгина, Саргис Варданович Варданян

Студенты 5 курса, специалитет
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»

С древнейших времен ремесленники хранили тайны своего дела, что служило гарантией сохранение монополий на производство тех или иных изделий. В Средние века у многих талантливых изобретателей была нелегкая судьба: архитекторов таких, например, как строители Соборов Московского Кремля, ослепляли, венецианских мастеров-стеклодувов заперли в пожизненной тюрьме на острове Мурано. В те времена в России выдавались не патенты, а так называемые «привилегии».

Советское патентное законодательство началось в 1919 г., когда В.И. Ленин подписал «Положение СНК об изобретениях». Позже патент был переименован в «Авторское свидетельство», которое до самого последнего времени оставалось единственным средством защиты изобретений в СССР. В 1992 г., Совет России принял «Патентный Закон», согласно которому патент на изобретение - охранный документ, выдаваемый Государственным патентным ведомством Российской Федерации, подтверждающий право его обладателя на изобретение. Со временем был веден новый объект промышленной собственности - «полезная модель».

Введение правовой охраны полезных моделей ставит целью предоставление предпринимателям, а также и отдельным изобретателям механизма быстрой и дешевой правовой защиты. Институт полезных моделей должен способствовать решению сугубо практических задач, возникающих, прежде всего, в сфере удовлетворения человеческих потребностей.

Таким образом, производя товары или предоставляя некоторые виды услуг, нам приходится сталкиваться с использованием определенных изобретений (промышленных моделей). Большинство пользуется уже давно существующими образцами, кто-то изобретает их самостоятельно, возможен вариант с модернизацией «старых» моделей. Какой бы из этих вариантов мы ни выбрали, нам обязательно придется столкнуться с такими понятиями как патент, патентное право, интеллектуальная собственность, лицензия и пр. Именно поэтому крайне важно иметь представление об этих вещах и знать порядок получения и пользования объектов патентного права.

Пате́нт (от лат. patens — открытый, ясный, очевидный от полного наименования — litterae patentes — открытое письмо) — охранный документ, удостоверяющий исключительное право, авторство и приоритет изобретения, полезной модели либо промышленного образца. Срок действия патента зависит от страны патентования, объекта патентования и составляет от 5 до 25 лет. За использование патента выплачивается роялти.

Патент – это не просто бумажка, где говорится о ваших трудах, это документ, который дает определенные права своему обладателю, например, запрещать практически любое использование его интеллектуальной собственности другими лицами.
Объекты интеллектуальной собственности охраняются государством, поэтому нарушение патентных прав несет за собой административную (компенсация морального вреда, возмещения убытков) или уголовную (лишение свободы, принудительные работы) ответственность.
На сегодняшний день существует огромное количество патентных агентств и бюро, которые предоставляют свои услуги по получению патентов. Стоимость подобных услуг достаточно высокая, так как срок их реализации может составить более года.
При самостоятельном получении патента, прежде всего, стоит запастись силой и терпением,а также быть готовым к тому, что процесс «затянется».
Порядок получения патента предусматривает несколько последовательных шагов. В первую очередь необходимо установить, является ли наше изобретение объектом патентного права. Для этого надо ознакомиться с условиями патентоспособности изобретения, полезной модели, промышленного образца, изложенными в Гражданском Кодексе РФ. Далее определяем круг лиц, на которых будет выдан патент. После этого можно приступать к подготовке необходимых документов: заявление о выдаче патента, все необходимые сведения об изобретении и квитанция об уплате госпошлины. Эти документы подаются в Роспатент – Федеральную службу по интеллектуальной собственности.
Роспатент потратит некоторое время на экспертизу заявки и далее вынесет решение о выдаче патента или об отказе.
Если ответ «положительный», то ваше изобретение вносится в Государственный реестр, и публикуются сведения в бюллетене.

Литература

Приказ Минобрнауки РФ от 29.10.2008 N 322 „Об утверждении Административного регламента исполнения Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам государственной функции по осуществлению в установленном порядке продления срока действия патента на изобретение, относящееся к средствам, для применения которых требуется получение разрешения уполномоченного на это органа в соответствии с законодательством Российской Федерации, срока действия патента на промышленный образец, свидетельства (патента) на полезную модель, свидетельства о регистрации товарного знака, знака обслуживания, свидетельства на право пользования наименованием места происхождения товара, а также восстановления действия патента на изобретение, полезную модель, промышленный образец, прекращенного в связи с неуплатой в установленный срок пошлины за поддержание его в силе“.
Судариков С.А. Право интеллектуальной собственности, Москва Проспект 2011, 5 глава.

УДК 621.787

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ВОЛОЧЕНИЯ СПЛОШНЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Александр Владимирович Виденин

Студент 4 курса
Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. В. Щедрин
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время алюминиевые сплавы традиционных и инновационных марок широко применяются в различных отраслях промышленности и типах специальной техники. Однако при их использовании имеет место эксплуатационно-технологическое противоречие, заключающееся в высоких эксплуатационных и низких технологических свойствах, особенно при обработке давлением в виде адгезионного наростообразования на воздействующих поверхностях обрабатывающего, как правило, твердосплавного инструмента. Еще большую актуальность данная проблема приобретает при получении волочением сплошных профилей из алюминиевых сплавов сложного профиля поперечного сечения и его больших размеров.
На основании достижений инновационного импортозамещающего направления «трибология на основе самоорганизации» предложено совместное применение волочильного инструмента и заготовок с регулярной микрогеометрией поверхности в условиях самовозбуждаемого противодавления инновационных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие «эффект безызносности при трении Горкунова-Крагельского». Один из таких методов комбинированного, деформирующе-режуще-калибрующего, волочения защищен патентом РФ на изобретение № 2560475. При этом твердосплавный инструмент может быть заменен на стальной, если его упрочнить по способу (патент РФ на изобретение № 2560477).

Литература

1. *Гаркунов Д. Н. и др.* Трибология на основе самоорганизации. Германия: LAMBERT. 245 с.
2. *Щедрин А. В. и др.* Новое научное открытие в трибологии на основе самоорганизации // Научные труды Академии проблем качества «Качество и жизнь»: Спецвыпуск 2016. С. 348-356.

УДК 621.771

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕТОДЫ ЕЕ РЕГУЛИРОВКИ ПРИ ФОРМОВКЕ В КЛЕТЯХ CL

Марк Владимирович Водяницкий

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»

Форма поперечного сечения формовки на выходе из стана FFX (на входе FP1) становится удлинённой по вертикали, поэтому возможно изменить угол контакта между боковыми валками

вертикальной клети и полосой для изменения места, в котором происходит максимальный изгибающий момент.

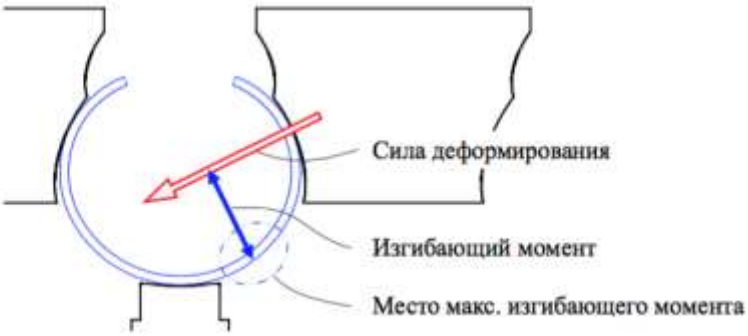


Рис. 1 - деформация изгиба на станинах вертикальной клети

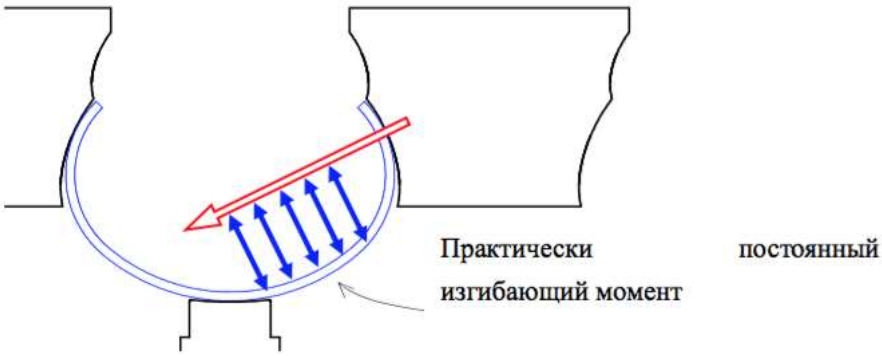


Рис. 2 - деформация изгиба в станине вертикальной клети

В процессе формовки толстого изделия с низким пределом текучести, если давление на поверхности контакта между полосой и боковыми валками выходит за пределы текучести полосы, то появляются дефекты прогиба. Чтобы избежать данной проблемы, следует отрегулировать формующую нагрузку каждого из боковых валков так, чтобы распределить формование почти равномерно на каждый из них.

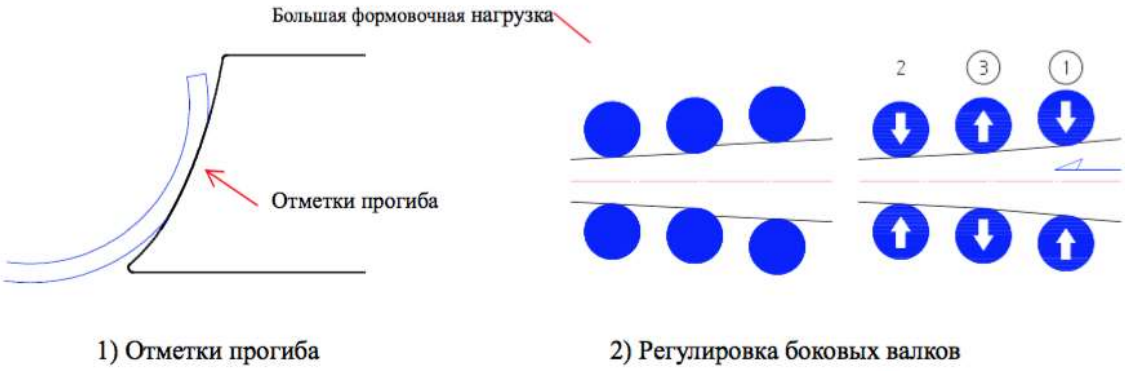


Рис. 3 – регулировка формующей нагрузки валков вертикальной клети

УДК 621.7:539.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В СРЕДЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANSYS/LS-DYNA

Дмитрий Игоревич Войстроченко

Магистр 2 года,
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 настоящее время гнутые профили (ГП) получили широкое распространение во всех отраслях промышленности. Однако, не смотря на это, в технологии производства ГП имеется ряд нерешенных технологических задач. Одной из актуальных проблем в этой области является отсутствие адекватной математической модели, которая бы описывала процесс формовки профиля на непрерывном профилировочном стане, его формообразование и напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки, во время процесса гибки. С учётом развития современных информационных технологий и методов моделирования технологических процессов решение задач такого рода становится возможным.

В работе проанализированы возможности описания НДС листовой заготовки при профилировании в непрерывном стане в среде конечно-элементного моделирования ANSYS/LS-DYNA. На основе результатов этого анализа были выявлены недостатки и преимущества численных методов, реализованных в вышеуказанном приложении, и с помощью ANSYSParametricDesignLanguage (APDL) написана программа, моделирующая процесс формовки на непрерывном профилировочном стане.

Разработанная программа позволяет прогнозировать появление дефектов поверхности профиля при его формовки на непрерывном профилировочном стане. Наряду с этим есть возможности для анализа НДС заготовки, в зависимости от свойств формуемого материла и геометрических параметров стана и калибров. Также, программа позволяет получать все необходимые данные для осуществления расчёта энерго-силовых параметров стана.

В результате исследований в работе выявлены особенности составления конечноэлементных моделей, даны рекомендации по подбору параметров адаптивной сетки, модели материала и коэффициента демпфирования энергии. Выявлен оптимальный размер конечных элементов модели профилировочных роликов, при котором не происходит искажения результатов расчёта и картины распределения полей напряжений. Более того установлена зависимость времени решения от количества элементов и параметров материала.

УДК 621.787

ИННОВАЦИООНЫЙ МЕТОД ОПРАВОЧНОГО ВОЛОЧЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Сергей АлександровичЖаворонков

Студент 4 курса
Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.В. Щедрин, О.В. Соколова.
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время при получении полых профилей (труб) широко применяются методы волочения на “плавающей” оправке. Для совершенствования методов оправочного волочения цилиндрических и фасонных труб из алюминиевых сплавов, склонных к интенсивной адгезии с обрабатывающим, как правило, твердосплавным инструментом, на основании инновационного импортозамещающего направления “трибология на основе самоорганизации”[1] предложено совместное применение инструментов с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей и самовозбуждаемого противодавления современных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие “эффект безызносности при трении Гаркунова-Крагельского” (дипломы №№ 41,378 Госреестра открытий СССР, патент РФ на изобретение № 2277579)[2].
Один из таких методов оправочного волочения защищен патентом РФ на изобретение №2593062. Для замены твердосплавного инструмента на стальной рекомендуется упрочнять последний по способу (патент РФ на изобретение №2560477). Дополнительно наружную поверхность трубной заготовки следует деформировать сдвоенными фильерами, рабочие каналы которых упрочнены регулярным микрорельефом, а на сопрягаемых торцах фильер выполняются радиальные каналы для подачи смазки (патент РФ на изобретение №2560475). При оправочном волочении мелкоразмерных (капиллярных) труб “плавающая” оправка может иметь конструкцию (рис.1). Другое направление – регуляризация микрогеометрии поверхности заготовок[2].

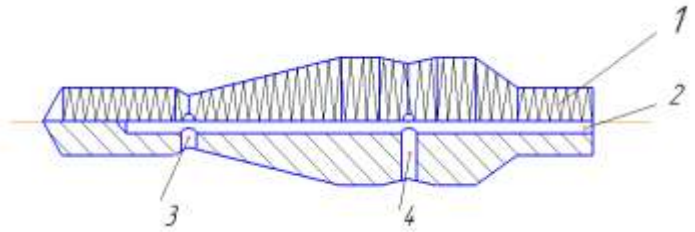


Рис. 1. Конструкция “плавающей” оправки. 1- однозаходный винтовой регулярный микрорельеф, 2- осевой канал, 3,4- радиальные каналы.

Литература

Трибология на основе самоорганизации/ Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников и др. Германия: LAMBERT, 245 с.
Щедрин А.В. и др. Новое научное открытие в трибологии на основе самореализации. Качество и жизнь: Научные труды академии проблем качества, спецвыпуск. 2016. с. 348-356.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СТАЛИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Сергей Александрович Жуков

Студент6курса
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им Н. Э. Баумана

Научный руководитель: П.Ю. Жихарев,
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

В сталях при термомеханической нагрузке наблюдаются все известные для твердого состояния фазовые превращения: перлитное, промежуточное (бейнитное) и мартенситное. Возможность протекания тех или иных фазовых превращений и их кинетика зависят как от состава стали, так и от параметров термомеханического воздействия, таких как температура, условия нагрева, длительность выдержки, скорость охлаждения, механическая нагрузка и т.п.

Как показывают многочисленные экспериментальные исследования, фазовые превращения являются причиной появления в материале определенного набора физических и механических свойств, которые в значительной степени зависят от микроструктуры материала, механизмов ее формирования и изменения. Корректное описание изменения структуры материалов дает возможность разработки новых методов получения материалов с заданным набором свойств и оптимизации уже существующих. Экспериментальное исследование данного вопроса является достаточно ресурсоемким, поэтому в механике деформируемого твердого тела актуальной становится задача построения моделей, описывающих состояние и эволюцию структуры материала с учетом твердотельных фазовых превращений.
Целью данной работы является повышение качества термомеханически упрочнённого арматурного проката в части обеспечения заданного уровня механических свойств по длине проката.
В работе представлена модель, позволяющая на основе химического состава стали и скорости охлаждения прогнозировать структуру металла после термомеханической обработки. Для описания диффузионного превращения использована формула Джосона – Мела – Аврами – Колмогорова, а для описания бездиффузионного (мартенситного) превращения – формула Койстинена-Марбургера.

Литература

1. *S-H. Kang Y.T.* Finite element investigation of multi-phase transformation within carburized carbon steel. Journal of Materials Processing Technology 183, 241-248 (2007)
2. Clinton DeW/ Van Siclen Random nucleation and growth kinetics, Phys. Rev. B. Condensed matter. Ser. 3, 1996, p.145-148
3. *Логинов А.В.* Совершенствование процесса термомеханического упрочнения при прокате арматурных профилей с применением структурно-матричного моделирования – Магнитогорск, 2004 – 131с.
4. *Стародубов К.Ф., Узлов И.Г., Савенков В.Я*. Термическое упрочнение проката – М Металлургия, 1970 – 368с.

УДК 669.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИВОДА КОНВЕРТИРУЕМОЙ КЛЕТИ МЕЛКОСОРТНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

Малика Анваровна Кудратова

Студентка 6 курса,
кафедра «Оборудования и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: П.Ю. Жихарев,
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Особенностью конвертируемой клети является то, что станина вместе с редуктором может поворачиваться на 90°, превращая клеть из вертикальной в горизонтальную или обратно за несколько секунд без длительной перевалки.
Электродвигатель передает момент зубчатой муфте. При горизонтальном положении клети движение передается на зубчатые колеса со входной стороны вала редуктора через быстросъемную муфту. Комбинированный редуктор приводит в движение шпиндели, а те в свою очередь прокатные валки. При вертикальном положении: клеть меняет свое положение.

Редуктор с коническим зацеплением подсоединяется к муфте. Тогда движение передается через сцепную муфту на конический редуктор - далее на комбинированную шестерную клеть.
Для данной клети была разработана конструкция комбинированного редуктора, который состоит из двухступенчатого цилиндрического редуктора с внешним зацеплением зубьев и шестеренной клети с диаметром шестерен 500 мм, размещенных в едином комплексе.
Целью работы является моделирования динамики трансмиссии привода для выявления характера, определения форм и частот крутильных колебаний, возникающих в его трансмиссии после ударного захвата заготовки рабочими валками. Такое моделирование является актуальным ввиду сложности привода, содержащего большое количество движущихся частей. Выявление нежелательных колебательных процессов, способных развиться при работе привода, на данном этапе представляется весьма целесообразным ввиду возможности внесения изменений в конструкции на этапе технического проектирования, что позволит избежать проблем в дальнейшем.
Для решения задачи необходимо было составить кинематическую схему привода, дающей наглядное представление о количестве и взаимном расположении звеньев, совершающих вращательное движение, далее построить 4-массовую крутильно-колебательную модель электропривода, написать систему уравнений и определить исходные данные для дальнейшего расчета. В качестве исходных данных используются следующие характеристики: приведенные к выходному валу электродвигателя моменты инерции сосредоточенных масс расчетной схемы электропривода, приведенные к выходному валу электродвигателя крутильные жесткости упругих связей между сосредоточенными массами.

Литература

1. *Мальцев А.А.* Исследование динамики и прогнозирование долговечности привода прокатного стана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 6 с.
2. *Иванченко Ф.К., Полухин П.И., Тылкин М.А., Полухин В.П.* Динамика и прочность прокатного оборудования. – М.: Металлургия, 1970. – 13 с.
3. *Целиков А.И., Иванченко Ф.К., Полухин П.И., Тылкин М.А., Полухин, Гребеник В.М., Королев А.А., Сторожик Д.А., Павленко Б.А., Целиков А.А., Елинсон И.М., Зюзин В.И.* Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 71 с.

УДК 53.084.823
РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАНА ХПТ 65

Александр Олегович Куликов

Студент 6 курса
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Научный руководитель: О.В. Соколова,
кандидат тех. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

В настоящее время во многих отраслях промышленности требуется применение высокоточных, качественных труб различного диаметра, в том числе тонкостенных. Трубы с такими параметрами производят на станах периодического действия, называемых станами холодной прокатки труб (ХПТ). Широкое распространение станов данного типа объясняется целым рядом преимуществ:
получение труб с точными геометрическими размерами и, особенно с малой эксцентричностью наружного диаметра относительно внутреннего. Допуски на внутренний и наружный диаметр могут быть выдержаны в пределах 4 - 5 классов точности;

высокая чистота поверхности, соответствующая 4 – 6 классу точности;
высокая степень деформации металла за проход (до 92 – 95%);
достижение значительного упрочнения металла трубы при прокатке, благодаря обжатию, как по диаметру, так и по толщине стенки;
прокатка труб переменного сечения, труб разнообразного профиля и др.

К недостаткам процесса получения труб методом холодного пильгерования относятся возникающие в стане ХПТ большие динамические нагрузки, связанные с возвратно-поступательным движением клети, дискретными подачей и поворотом заготовки, сложностью изготовления калибра, необходимостью наличия большого парка инструментов, а главное – это низкая производительность станов. Повысить ее, не ухудшая качество готового изделия, в настоящее время достаточно сложно. [1]

Поиск путей повышения производительности потребовал анализа существующих конструкций рабочих клетей станов ХПТ, в том числе рабочего инструмента.

Представляет практический интерес решения по реконструкции станов ХПТ, предложенные Электростальским заводом тяжелого машиностроения. Данные решения предполагают разные уровни возможной модернизации: начиная от замены отдельного узла или группы механизмов, заканчивая реконструкцией, включающей замену системы управления, изменение конструкции стана, его компоновки, технологических режимов прокатки.

В данной статье покажем изменения, коснувшиеся только узла клети. Выполнен переход на кольцевые калибры.(рисунок 1) Кольцевые калибры одеваются на рабочие валки по легкопрессовой посадке, что значительно надежнее клиновых креплений калибров полудисков. Такой тип крепления повышает точность прокатываемых труб и позволяет сократить затраты на ремонт оборудования и изготовление инструмента.

Рис.1 Кольцевой калибр в рабочей клети “ДУО”

С другой стороны, такая конструкция валков значительно усложнила процесс их перевалки. Для решения этой проблемы было решено использовать принципиально новую конструкцию клети с вертикальным расположением валков (рисунок 2). Перевалка осуществляется крановым оборудованием цеха заменой сразу пары валков, время перевалки клети занимает не более одного часа. Валки подготавливаются к перевалке вне линии стана.

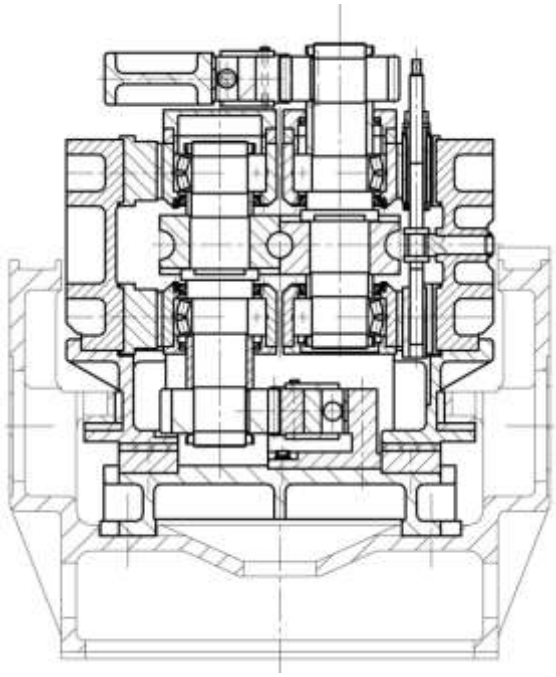


Рис.2 Рабочая клеть “ДУО”

Клети такого типа были установлены на стане ХПТ-55 для ПАО «МСЗ» в г. Электросталь, и на станы ХПТ-55 (2 шт) и ХПТ-90 для СинТЗ (Синарский трубный завод).

Клеть аналогичной конструкции спроектирована и применена для стана нового поколения ХПТ 65. Стан прошел промышленную апробацию и успешно эксплуатируется на заводе в Индии.

Литература

*Соколова О.В., Восканьянц А.А., Комкова Т.Ю. – «*Технология и оборудование производства труб на станах ХПТ». М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007;

Техническая документация для стана ХПТ 65. ОАО “ЭЗТМ” 2015.

Кондратов Л.А., Чечулин Ю.Б., Богданов Н.Т., Макаркин Н.С. - «Конструкции, ремонт и обслуживание станов холодной прокатки труб». М.:Металлургия, 1994

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СТ2ПС С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА МЕТОДОМ БАЗИСНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Юрий Михайлович Куренков

Студент 6 курса, специалитет,
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»

Введение

Основой предварительных расчётов системы автоматизации современных станов горячей прокатки является определение энергосиловых параметров (ЭСП), в первую очередь силы прокатки. Как правило, в формулы расчёта контактных напряжений прямым сомножителем входит сопротивление деформации, поэтому точность его определения непосредственно влияет

на погрешность расчёта энергосиловых параметров. Таким образом, уточнение значений сопротивления деформации сталей в процессе горячей прокатки, с учётом фактического их химического состава является актуальной задачей.

Цель работы

Определение действительное значение сопротивления деформации стали 2пс с различным содержанием углерода путем эксперимента на лабораторном стане.

Методы исследования

Несмотря на наличие теоретических формул, описывающих влияние степени и скорости деформации на сопротивление деформации, практическое значение сопротивления деформации находят на основе соответствующих экспериментов.

Существует несколько методов определения сопротивления деформации металлов, такие как растяжение, сжатие, кручениецилиндрических образцов, метод базисных давлений. Отмечают, что значение сопротивления деформации, найденной по результатам испытания образцов в условиях сжатия, растяжения и кручения, может быть использовано в расчетах контактного давления с определёнными допущениями. Причиной этому является различие в условиях развития деформации при прокатке и при испытаниях, различие в температурных условиях и другие факторы[2]. В связи с этим расчет сил прокатки целесообразно основывать на величине сопротивления деформации, найденного непосредственно при прокатке или хотя бы проводить экспериментальную проверку прокаткой результатов, полученных другими методами. Для этого можно использовать метод базисных давлений.

Сущность метода базисного давления состоит в том, что за характеристику сопротивления деформации принято среднее удельное давление p_0 при прокатке эталонных образцов в эталонных условиях. За эталонные условия принимаются условия двухмерной деформации, исключающие влияние уширения и сводящие к минимуму влияние внешнего трения и внешних зон. Эти условия в значительной мере соблюдаются при прокатке образцов прямоугольного сечения, когда $b \gg h_{ср}$ и $l=h_{ср}$, где b – ширина образца, $h_{ср} = \frac{h_0 - h_1}{2}$, h_0– начальная толщина заготовки, h_1– конечная толщина, l – длина дуги захвата.

Проведение эксперимента по определение сопротивления деформации

Для проведения экспериментальных исследований прокаткой от промышленных слябов стали 2пс, произведённых в условиях Литейно-прокатного комплекса АО «Выксунский металлургический завод»вырезаны образцы с размерами 30х160х200 в количестве 12 штук. Фактический химический состав приведён в Таблице 1. При этом 6 образцов отобраны от плавки с содержаниемуглерода 0,15%, другие 6 образцов – 0.05%. Прокатка велась на стане ДУО-300, основные характеристики которого приведены в Таблице 2.

Система измерения усилий прокатки фирмы ABB: количество – 2 шт., установлены под подушками нижнего прокатного валка, имеет выход на компьютер стана. Стационарные инфракрасные пирометры «Термоскоп-800 С1»: количество – 2 шт., установлены с двух сторон над клетью, имеют выход на компьютер стана, диапазон измерения 500..1500, спектральный диапазон – 0,8 мкм, показатель визирования – 240:1.

Таблица 1.Химический составпрокатываемыхобразцов

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	TI	N	Al	Ca	As	Nb	V	Mo
Ст2пс (0,15% С)	0,15	0,11	0,26	0,003	0,004	0,11	0,09	0,19	0,001	0,008	0,022	0,002	0,004	0	0,002	0,013
Ст2пс (0,05% С)	0,05	0,11	0,23	0,002	0,005	0,09	0,11	0,2	0,001	0,009	0,027	0,003	0,004	0,001	0,001	0,012

Таблица 2. Основные характеристики лабораторного стана ДУО-300

Максимальное усилие прокатки, МН	1,6
Наибольший момент прокатки, МН*м	0,061
Скорость прокатки, мм/с	50-300
Ход нажимных винтов, мм	100
Скорость изменения раствора валков, мм/с	5…10
Мощность привода, кВт	110

Конечная толщина образца исходя из соблюдения эталонных условий равна 25 мм, что соответствует обжатию ε=16,7%. Скорость прокатки принята равной 200 мм/с, что соответствует скорости деформации:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon \cdot \frac{v}{l} = 1.2\ c^{-1}$$

При выборе среднего давления на валки отсекались участки захвата и выхода полосы из валков (Рис. 2). Температура образцов измерялась до и после прокатки с помощью ручного пирометра и стационарных пирометров, установленных на станине.Для дальнейших расчетов бралась средняя из четырех температур.

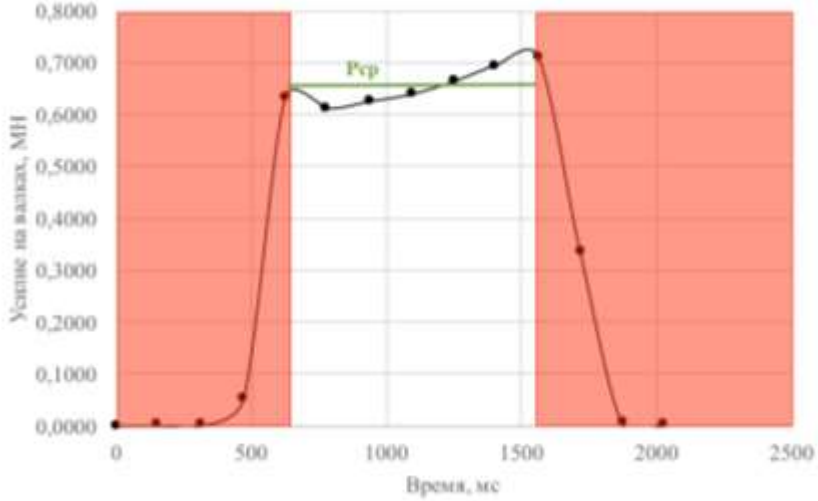


Рис. 2. Схема выбора среднего усилия на валках из данных со стана ДУО-300

Вторая серия экспериментов проводилась из уже прокатанных образцов, предварительно очищенных от окалины с обжатием 14,4%. Расчет величины сопротивления деформации из усилия прокатки представлен ниже [1]:

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta H};$$
$$F = B \cdot l;$$
$$\sigma = \frac{p}{1.15 \cdot n'_\sigma}$$

где l – длина дуги захвата, $\Delta H = H_0 - H_1$, H_1 – конечная толщина заготовки, H_0 – начальная толщина заготовки, p – усилие прокатки, $n'_\sigma = 1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{l}{h_{\text{ср}}}$ - коэффициент влияния внешнего трения.

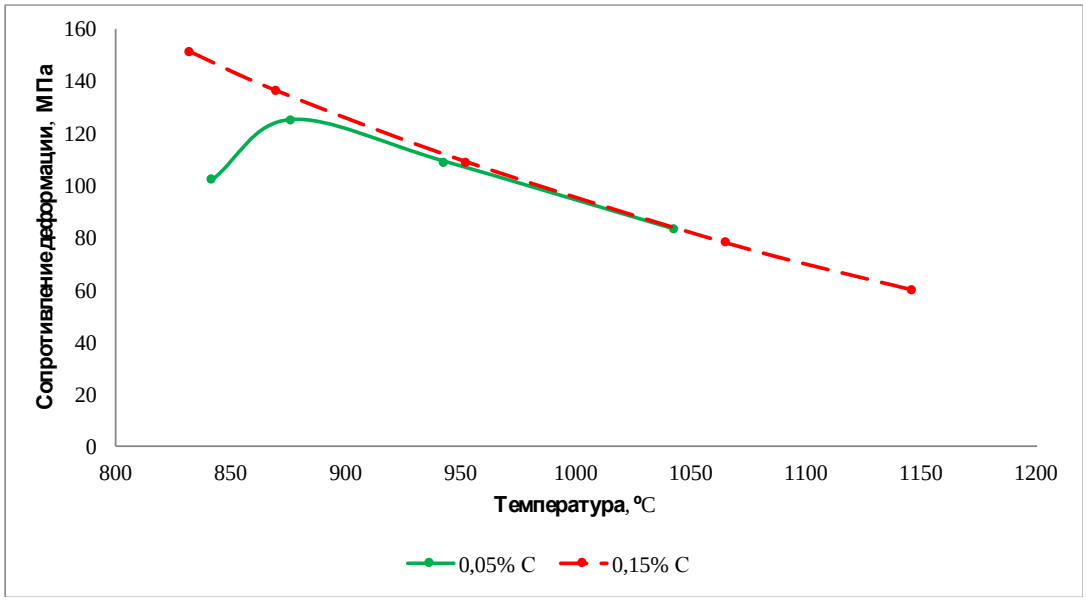


Рис. 3. Зависимость сопротивления деформации от температуры

При температуре ниже 900°С, у образца с более низким содержанием углерода, начинается превращение, поэтому падает сопротивление деформации. Температура начала фазового превращениярассчитывалась по следующей формуле[4]:

$$Ar_3 = 910 - 310C - 80Mn - 20Cu - 15Cr - 55Ni - 80Mo + 0{,}35(h - 8)$$

Для стали 2пс с содержание углерода 0,05% $Ar_3 = 870°C$
Для стали 2пс с содержание углерода 0,15% $Ar_3 = 836°C$
Определение температуры начала фазового превращения показывает, что температура начала превращения у стали с меньшим содержанием углерода начинается при 870 $°C$, что соответствует значению, которое получено при прокатке на лабораторном стане. В случае стали 2пс с содержанием углерода 0,15%, температура фазового превращения не достигается во время эксперимента, поэтому сопротивление деформации не снижается, как при прокатке стали 2 пс с меньшим содержанием углерода.

Выводы

Уточнение значений сопротивления деформации сталей в процессе горячей прокатки, с учётом фактического их химического состава – это резерв повышения точности энергосилового расчёта широкополосных станов.
С понижением температурысопротивление деформации растёт. При этом, различия в значениях сопротивления деформации между образцами с содержании углерода 0,05% и 0,15%отсутствуют при высоких температурах (до 1200 °С), и незначительно различаются при температуре 900 – 1000 °С.
Сопротивление деформации снижается, если во время прокатки образец достигает температуры начала фазового превращения.

Литература

Зюзин В.И., Бровман М.Я. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. М.: Металлургия, 1964. 270 с.
Никитин Г.С. Теория продольной непрерывной прокатки. М.: МГТУ им. Баумана, 2009. 203 с.

Экспериментальная проверка формул для расчета энергосиловых параметров процесса листовой прокатки / А.В. Зиновьев [и др.] // Производство проката. 2002. No 4. С. 2-9.
The Effect of Hot Rollong Condition and Chemical Composition in the Onset Temperature of Gamma-Alpha Transformation After Hot Rolling / Ouchi C. [at al]. // Transaction of the ISIJ, March 1982, 214-222

УДК 621.771

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРОКАТКИ МНОГОСЛОЙНОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ЗАГОТОВКИ

Дмитрий Михайлович Кутайцев

Студент 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»

В настоящее время возрос интерес к материалам с ультрамелкозернистой структурой, размеры зерен, в кристаллической решетке которых составляют менее 1 мкм в одном из измерений. Получение в металлических материалах такой структуры ведет к улучшение их физических и эксплуатационных характеристик и открывает перспективу использования их в качестве конструкционных материалов.Прокатка многослойных композиций из алюминия возможна в узком температурном интервале между 450 и 400 градусами Цельсия [1]. При уменьшении толщины заготовки, скорость ее остывания увеличивается. Таким образом, через определенное количество проходов, заготовка будет остывать быстрее, чем достигать клети прокатного стана.
В работе проанализированы существующие на сегодня методы поддержания температуры прокатываемой заготовки. На основе проведенного анализа в качестве такого устройства выбран подогреваемый рольганг, как наиболее подходящий для лабораторных условий способ подогрева заготовки. Приведено экономическое и техническое обоснование сделанного выбора.
Также приведен расчет теплопотерь заготовки в случае ее остывания на открытом воздухе и в кожухе рольганга [2]. Приведен расчет необходимой подачи горячего воздуха в кожух рольганга для поддержания в нем требуемой постоянной температуры. Из приведенных расчетов сделан вывод о целесообразности использования предложенной конструкции.
Для обеспечения возможности прокатки многослойных алюминиевых композитов на лабораторном стане кафедры МТ10 необходимо провести некоторые работы по модернизации стана. Трудозатраты при этом минимальны, а полученная в результате конструкция должна позволить производить прокатку не только многослойных алюминиевых заготовок, но и других материалов, при изготовлении которых требуется строгое соблюдение температурного режима.

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Миронова М.О. Исследование структуры и свойств многослойных материалов на основе алюминиевых сплавов. Наука и образование: научно-техническое издание, 2011. №11 .
2. *Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е.*Методики расчета нагревательных и термических печей. К. Теплотехник, 2004 г. - 400 с.

УДК 665.931

КЛЕЕВЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОКАТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕБРИСТЫЪ ТРУБ НА СТАНАХ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

Евгений Михайлович Кутайцев, Диана Дмитриевна Левина

Магистр 2 года,
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»

На сегодняшний день самым известным и популярным методом соединения трубных заготовок перед прокаткой биметаллических ребристых труб является метод механического воздействия на внешнюю трубу, называемый закернриванием. Он подразумевает воздействие керном в нескольких местах на поверхность внешней трубы, в результате этого она деформируется и осаживается на внутреннюю трубу и происходит фиксация рубашки на сердечнике. Несмотря на то, что этот способ является традиционным, он имеет свои недостатки. Возникла идея, в качестве способа соединения трубы-сердечника с трубой-рубашкой рассмотреть специальную клеевую композицию. В настоящее время существует множество клеев для соединения металлических поверхностей. Однако, что касается применения клея для соединения трубных заготовок перед прокаткой, то здесь имеется много ограничений, которые ограничивают диапазон выбора типа клея. Ограничения возникают оттого, что после прокатки необходимость в использовании клеевого состава сводится на нет, так как после выхода из прокатной клети внешняя труба осаживается на внутреннюю, где последняя выполняет роль оправки. В результате мы получаем прочное соединение без каких-либо зазоров, что обеспечивает высокую теплопроводность и прочность теплообменника. Исходя из этого, можно сделать вывод, что клей должен практически полностью выводиться из межтрубного пространства во время прокатки и не должен влиять на характеристики готовых труб.

В каждой стране мира имеется своя классификация клеевых составов, в России она прописана в ГОСТ 30535-97 Клеевые материалы. Опираясь на него, в первом приближении клеи можно разделить на две большие группы: конструкционные и неконструкционные.[3]

К конструкционным, или силовым, относятся клеи, которые можно применять в случаях, где требуются прочные соединения, например, для приклейки фрикционных облицовок тормозных колодок, в авиационных конструкциях с легким заполнителем и т. п. Клей в подобных соединениях должен обладать способностью выдерживать большие напряжения.[3]

Неконструкционные, или несиловые, клеи дают соединения, которые не в состоянии выдержать значительных усилий и предназначены лишь для удержания на месте каких-либо ненагруженных деталей в изделии. Неконструкционные клеи часто применяются там, где желательно только временное соединение.[3]

Использование клея для соединения трубных заготовок подразумевает то, что клей, не должен растекаться, то есть должен быть достаточно вязким. Так как использование клея предусматривается для соединения трубных заготовок именно перед прокаткой для обеспечения фиксации трубы-сердечника в трубе-рубашке, для того, чтобы в момент подачи и захода собранной конструкции в клеть исключить вероятность сдвигов внутренней и внешней трубы друг относительно друга, клей должен быстро застывать (схватываться), так как после сборки труб до их прокатки не должно проходит много времени из соображений обеспечения высокой производительности. После застывания получившаяся субстанция должна быть упругой и не создавать в межтрубном пространстве жесткого кольца, а также должна сжиматься почти до нуля, чтобы не вызвать всплеска оребрения, приводящего к браку и

возможным поломкам оборудования, а также проводить тепло на том же уровне, как при соединении металла с металлом вплотную, без клеевой прослойки или зазоров.

Из номенклатуры клеевых и фиксирующих составов, представленных компанией 3М(США), одного из мировых лидеров производства клеев и герметиков, можно более подробно описать следующие.

Клеи-компаунд – это клеи, в которых отверждение компаундов происходит как следствие химической реакции в полимере под действием какого-либо фактора (тепло, прижатие, УФ-лучи, кислород воздуха и др.). Особенно распространены полиэфирные, эпоксидные смолы, метакрилат, полиакрилат, силикон, полиуретан.[2]

Этиловые цианакрилатные адгезивы по составу являются универсальными, обладают низкой вязкостью. Они широко используются для ремонта, узловой сборки, технического обслуживания, склеивания самых разных видов каучуков, пластиков, пористых материалов. Цианакрилатные клеи, модифицированы каучуком, что значительно повышает прочность на сдвиг и отрыв, делает адгезив стойким к вибрации, колебаниям температуры, влажности. Важным преимуществом является время схватывания такого клея, которое составляет всего 20…50 секунд (на стальных листах). Состав полностью отвердевает за 24 ч. Клеи выпускаются черного и белого цветов. Цианакрилатные адгезивы для металлов представляют собой новый спектр крепления металлических материалов. При помощи цианакрилатного клея возможно скрепить разнородные металлы, для которых недопустима сварка, соединить металлы и неметаллические поверхности, максимально равномерно распределить напряжение по всей скрепляемой площади, снизить вибрацию конструкции, обеспечить герметичное соединение при давлении, дополнительно упрочнить конструкцию, соединенную клепкой и сваркой, при необходимости можно легко демонтировать клеевое соединение, нагрев его.[2]

Также можно рассмотреть применение герметиков для соединения трубных заготовок, но они не обладают достаточной теплопроводностью, что будет уменьшать полезные качества готового теплообменника.

Многообразие областей, где используются клеящие материалы, приводит к созданию широкой гаммы продуктов. В настоящее время на рынке представлены несколько десятков тысяч составов клеев, в которых трудно разобраться и которые сложно отличить друг от друга. Производители предлагают клеевые материалы, предназначенные для самых различных целей, а также готовы специально создать по требованию заказчика любой клей.[1]

Клеевое соединение не требует создания отверстий или осуществления механических воздействий на поверхность металла. После отверждения клеи для металла демонстрируют эластичность, высокую сопротивляемость механическому воздействию.[1] Их можно применять в легких конструкциях, состоящих из компонентов толщиной 0,5 и менее миллиметра, для которых закернивание затруднено. Клеевой слой также предохраняет от коррозии соединения из разнородных металлов.

Однако, несмотря на все преимущества клеев, их применение для соединения трубных заготовок перед прокаткой биметаллических труб может быть достаточно спорно оттого, что такой клей должен иметь большое количество специальных качеств, характеристик и необходимых особенностей, чтобы его использование было безопасным, эффективным и выгодным.

Литература

1. Классификация клеящих материалов и их выбор для промышленного использования / *М. Л. Калиниченко, В. М. Александров*. – Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 2(51)
2. Клеи и клеящие элементы / Сайт представительства компании 3М [Электронный ресурс].
3. Склеивание металлов / *Г. Эпштейн [и др.] ; под общ. ред. А. Т. Туманова.* – М. : Гос. изд-во оборонной промышленности, 1956. – 212 с.

УДК 621.771.01

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕВЫХ СПЛАВОВ

Андрей Александрович Миронов

Студент 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»

В 2014-2015г.г. ОК РУСАЛ проведен ряд исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку технологии получения лигатуры Al-Sc собственного производства и новых сплавов с ее применением.

В целях реализации разработанной технологии получения лигатуры Al-Sc принято решение разработать ряд новых сплавов системы Al-Mg, легированных добавками скандия и циркония. Исходя из мирового опыта, сплавы со скандием имеют высокий уровень механических свойств и повышенную коррозионную стойкость, кроме того сварные соединения этих сплавов характеризуются самой высокой прочностью. Применение сплавов со скандием в настоящее время сдерживается их сравнительно высокой стоимостью. Высокий уровень свойств сплавов со скандием делает их перспективным материалом для применения в авиа- и судостроении. В связи с этим актуальной задачей для развития этого направления в дальнейшем является получение сплавов с минимальным содержанием скандия, что позволит снизить себестоимость их производства и расширить рынок сбыта.

В перспективе плоские слитки из новых сплавов, легированных скандием, будут предназначены для горячей и холодной прокатки листов для авиа- и судостроения. Однако для получения комплекса заданных механических свойств, а также реализации технологических режимов горячей и холодной прокатки литых полуфабрикатов из разработанных сплавов, необходимо исследование свойств и отработка режимов деформации металла.

В работе исследовались прокатываемость алюминиевых скандиевых сплавов и их механические свойства после обработки. Для экспериментальных сплавов системы Al-5Mg-Mn-Cr-Zr-Sc определялись деформационные режимы листовой прокатки в горячем состоянии и при комнатной температуре с последующим отжигом холоднокатаных листов. В дальнейшем из холоднокатаных и отожженных листов вырезались стандартные образцы, которые подвергались испытаниям на разрыв. Прокатка осуществлялась на станах с диаметром валков 260 мм и 350 мм. Заготовки толщинами 40 и 60 мм и шириной 200 мм прокатывались вгорячую до толщины 10 мм, а затем вхолодную до толщины 3 мм. В процессе прокатки фиксировались силы прокатки и внешнее состояние прокатываемого образца: появление и развитие трещин на кромках и в сердцевине полосы.

В результате проведенной работы были подобраны режимы прокатки образцов сплава системы Al-5Mg-Mn-Cr-Zr-Sc на оборудовании, имеющемся в наличии на кафедре «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана на заданную заказчиком толщину без видимых дефектов.

При необходимости возможно применение данных режимов прокатки в промышленном производстве листовой заготовки из сплавов системы Al-5Mg-Mn-Cr-Zr-Sc, при адаптации ее под конкретные характеристики используемого оборудования.

Литература

1. *Ю.А. Горбунов.*Роль и перспективы редкоземельных металлов в развитии физико-механических характеристик и областей применения деформируемых алюминиевых сплавов //JournalofSiberianFederalUniversity. Engineerind&Tehnologies 5 (2015 8).636–645.
2. *В.В. Андреев, А.Н. Головко, О.В. Бондаренко.*Экспериментальное исследование прокатываемости алюминиевого сплава системы AL-MG-SC.Сайт metal-forming.org/images/statti.

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧСКОЙ СМОТКИ АМОРФНОЙ ЛЕНТЫ

Михайлин Сергей Владимирович

Студент 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»

Разработкановыхматериаловитехнологийихполученияв настоящее время общепризнано относят к так называемым «ключевым» или «критическим» аспектам основыэкономическоймощии обороноспособности государства.Однимизприоритетных направлений является получениесубмикрокристаллических,нанокристаллических,атакже безкристаллическихструктурв металлах и сплавах. Последняяструктура– аморфноесостояниетвердого тела считаетсяоднойизнаименееизученныхобластейфизикиконденсированногососостояния.
Существует несколько методовпроизводстваморфных металлов. ВРоссиинаибольшеераспространениеполучилиметодызакалкиизжидкогососостояния в частности закалка на водоохлаждаемом диске (рисунок 1). При таком методе охлаждаемый металл (лента) движется с линейной скоростью около 30 м/с, что приводит к трудностям при автоматической смотки ленты.

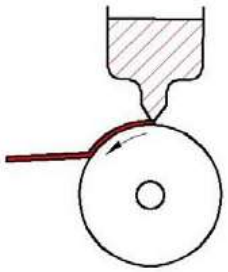


Рисунок 1 - закалка на водоохлаждаемом диске

Целью данной работы является анализвариантовконструкций моталок, разработанныхроссийскимиизарубежнымиконструкторами, а также представлениевариантамоталкисобственнойконструкции, выборнаиболееоптимальнойконструкциидля завода ВНИИМЕТМАШ.
В работе рассмотрены моталки конструкции фирмы SMS, конструкции патентов №2116159, №2021075, №2256519, а также моталка собственной конструкции.

Литература

1.Способ альтернативнойработымоталокиустройство для намотки лент: пат. 2181312 Рос. Федерация : МПК7 B21B1/22/КнеппеГ.,БраунМ.;Заявитель и патентообладатель СМС ШЛЕМАНН ЗИМАГ АГ.– №97102192/02; заявл. 13.02.1997; опубл. 20.04.2002.
2.Устройство для смотки полосы: пат. 2116159 Рос. Федерация : МПК7 B22D11/06/Дикалов Б.А.; ЗаявительипатентообладательНовгородскийгосударственныйуниверситет.–№96100194/02; заявл. 04.01.1996; опубл. 27.07.1998.
3.Способ подачитонкой ленты кнамоточномубарабануиустройстводляегоосуществления пат. 2021075 Рос. Федерация: МПК5 B22D11/06,B21C47/00 /Дунаевский В.И., Запара Б.М., Смычков А.С., Некраш Э.Б.,Гридневский В.И.; ЗаявительУкраинский науч.-исслед. институтметаллургическогомашиностроения– №4844223/02, патентообладатель– Филиал ВНИИМЕТМАШим. А.И. Целикова; заявл. 29.06.1990;опубл.15.10.1994.
4.Способ намотки тонкой ленты в рулон иустройстводляегоосуществленияпат.2256519 Рос. Федерация: МПК7 B21B47/00/ Некипелов В.С.; ЗаявительипатентообладательНекипеловВладимир Станиславович. – №2004103270/02, заявл. 05.02.2004; опубл. 20.07.2005..

УДК 621.774.06:621.771.63-462.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАНОВ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ФОРМОВКИ ТРУБ

Андрей Анатольевич Моисеев, Даниил Сергеевич Шумков

Студенты 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»

Современный рынок требует трубную продукцию широкого сортамента из различных материалов. Данная потребность связана с развитием многих отраслей промышленности, при этом в сложной современной экономической ситуации заводы-производители не могут себе позволить массового производства труб одного и того же типоразмера, так как это будет экономически невыгодно.

Необходимо отметить, что существующие трубоэлектросварочные агрегаты (ТЭСА), построенные в прошлом столетии, рассчитаны на производство большого объема электросварных труб строго указанных в инструкции типоразмеров. С учетом этого, изменения, вносимые в конструкцию существующих ТЭСА, прежде всего связаны с изменением политики производства: переход от массового производства к производству малыми и средними партиями.

Данные требования заставляют искать способы модернизации – создание более «гибких» трубоэлектросварочных агрегатов. Одним из таких способов является введение в технологическую линию эджерных валков[1].

Изначально клети с данными типами валков использовались как направляющие для кромок, что предотвращало смещение полосы в стороны. Впоследствии эджерные клети использовались для устранения распружинения металла, которое могло привести к чрезмерным продольным деформациям кромок.

На сегодняшний день эджерные клети также участвуют в формообразовании трубной заготовки, чтобы обеспечить наиболее стабильный процесс формообразования и распределить деформацию по клетям.

Актуальной задачей остается рационализация использования данного типа клетей: их местоположение в линии, роль в формообразовании.

В связи с увеличением тенденции на производство широкого сортамента труб требовалось обеспечить мобильность оборудования, а именно быструю перевалку и настройку. Так как перевалка основных горизонтальных клетей требовала большого количества времени, то введение таких же клетей вертикального типа делало невозможным выполнение поставленной задачи по мобильности производства. Поэтому на протяжении всего времени развития эджерных валков основные усилия были направлены на их «гибкость», т.е. быструю перенастройку на новый типоразмер.

Рассмотрим существующие конструкции эджерных клетей.

— *Вертикальные*

Данные клети оснащены лишь перемещением инструмента по вертикали и горизонтали. Они изначально использовались как поддерживающие. Одним из вариантов исполнения валков было повторение профиля прикромочной и кромочной зоны. Однако, в связи с этим могли возникать чрезмерные деформации кромок, что негативно сказывалось на качестве сварного шва. Одним из способов устранения данного эффекта является использование прямолинейного профиля. Например, валки с трапецеидальным профилем (рис.1), которые позволяют устранить распружинение и провести доформовку. Данный профиль позволяет обеспечить мобильность данных клетей и простоту изготовления данных валков [2].

Рис. 1. Формовочная клеть с валки с трапецеидального профиля

На данный момент вертикальные клети с валками, повторяющими профиль прикромочной и кромочной зоны (рис.2) используются как формующие. Несмотря на существующую проблему деформации кромок, данный вид клетей наиболее дешевый и простой в исполнении.

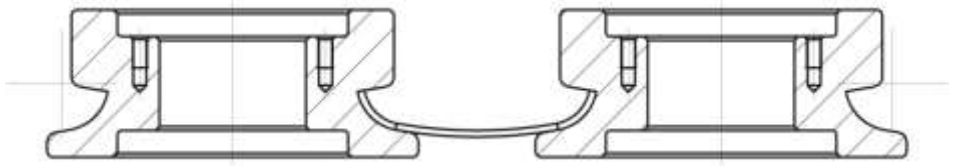


Рис. 2. Формовочные клети с профилированными валками

— *Свободно позиционируемые*

Большим шагом к обеспечению «гибкости» стало использование валков, которые могут свободно позиционироваться в клетях, что резко сокращает время на перевалку и замену инструмента. В данных клетях использовались как плоские (для удержания кромки), так и профилированные валки (для «доформовки» полосы).

Примером модернизации существующего оборудования является стан ТЭСА 203-530, который был установлен на Выксунском Металлургическом Заводе. При переходе на новые типоразмеры существовала проблема подведения кромок заготовки к закрытой группе клетей. Чтобы решить данную проблему сотрудниками ЭЗТМ была предложена клеть следующей конструкции, изображённая на рис.3.

Рис.3 Кромкогибочная клеть конструкции ЭЗТМ

Необходимо отметить, что в состав стана ТЭСА 203-530 не входили вертикальные клети.Вместо них можно было быиспользовать кромкогибочную клеть с тремя парами направляющихроликов (рис.3). Конструкция данной клети позволит реализовать схему, радикальным образом отличающуюсяот схемы с двумя клетями с вертикальным расположением формующих валков. Использование спаренных валков, расположенных непосредственно в прикромочной области позволит доформовывать трубную заготовку, уменьшая остаточные напряжения, возникающие в ходе пружинения трубной заготовки в клетях с калибрами открытого типа.

Конструкция рассматриваемой клети имеет механизм смены положения кромкогибочных роликов, что говорит об универсальности данного типа оборудования. Возможно, более продолжительные испытания данной клети позволили бы сотрудникам ЭЗТМ внедрить эти клети в комплекс оборудования существующих ТЭСА различных типоразмеров, что позволило бы расширить производимый сортамент продукции как по геометрическим размерам, так и по марочному диапазону сталей. Можно было бы добиться большего эффекта, предусмотрев в конструкции клети вертикальный прижимной ролик, позволяющий, как показали наши расчеты, перераспределить деформации и напряжения (рис.4).

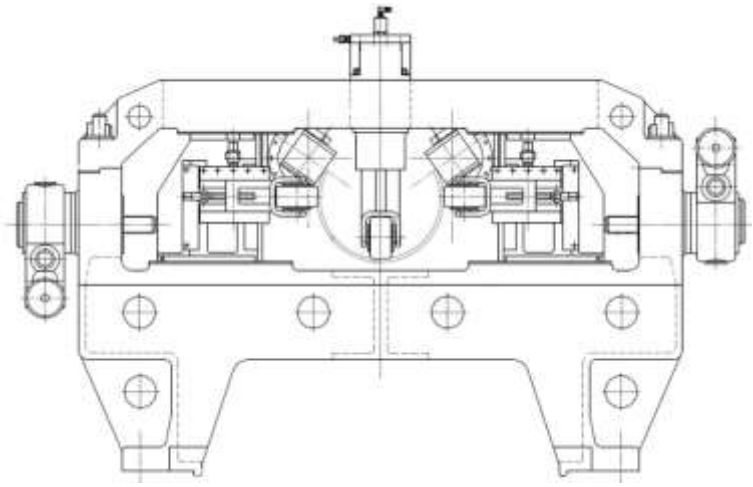


Рис. 4. Клеть с вертикальным прижимным роликом

На сегодняшний день стан ТЭСА 203-530 модернизирован: все клети до группы закрытых клетей были заменены на клети компании NAKATA, работающие по технологии FFX. На сегодняшний день технология FFX является одной из передовых технологий производства электросварных труб. Отличительной особенностью данной технологии является сложный

профиль инструмента и его свободное позиционирование в открытой группе клетей, что обеспечивает мобильность производства и расширяет диапазон производимого сортамента.

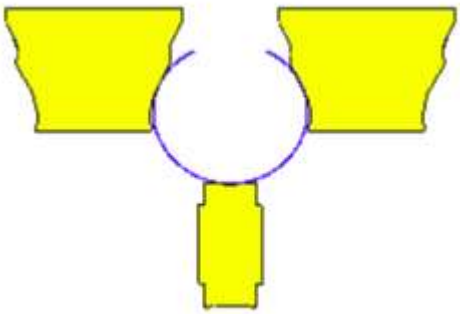


Рис. 5. Вертикальная формовочная клеть компании NAKATA

Стоит отметить, что в лини стана ТЭСА 203-530 от компании NAKATA используются вертикальные формующие клети. Валки перемещаются только в горизонтальном и вертикальном направлении, а универсальность обеспечивается сложным профилем инструмента, выполненного по форме эвольвенты (рис.5). Это значит, что данная кривая содержит радиусы формовки трубы, необходимые для производства на данном оборудовании. Контакт с валками точечный [3].

В истории развития конструкции станов ТЭСА все исследования и модернизации были направлены на обеспечение гибкости производства. Как было представлено, одним из таких способов модернизации является введение в состав основного оборудования эджерных клетей, отличающихся дешевизной и простотой. Такой большой разброс по типу валков и конструкции клетей был связан с различной постановкой задачи: направление и поддержание полосы; устранение распружинения; доформовка. На сегодняшний день наиболее «гибким» оборудованием является оборудование компании NAKATA, в частности вертикальные клети со сложным профилем валка, обеспечивающие мобильность и гибкость производства.

Литература

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

Глебов А.А. Исследование формовки трубной заготовки гладкими валками и разработка технологии процесса и конструкции инструмента, Москва – 1998.

Ивао Наката, Фейджу Ванг, Дзилонг Йинь, Гибкое дело, Металлургический компас №5, май 2008, МИР, Украина,23-27 с.

УДК 669.02.09

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВАКУУМАТОРА

Рюмин Александр Сергеевич

Магистр 2 года,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Ю.П. Шинкаревич,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Среди известных способов внепечной обработки наиболее важное место занимает внепечное вакуумирование, обладающее наиболее полным комплексом технологических возможностей.
Из множества типов вакууматоров, применяемых в настоящее время, наиболее актуальными и распространенными являются циркуляционные вакууматоры, которые при эксплуатации в конвертерных цехах большой производительности обладают рядом преимуществ по сравнению с прочими типами вакууматоров.
Основная задача при расчете и эксплуатации циркуляционных вакууматоров заключается в оптимизации скорости циркуляции — основной характеристики процесса циркуляционного вакуумирования, которая не поддается непосредственному контролю. Поэтому важной задачей является определение достоверных зависимостей между количеством металла, проходящего через вакуум-камеру в единицу времени и остальными параметрами вакуум-камеры и технологического процесса.
В работе произведен анализ методики лабораторных исследований циркуляционного вакуумирования на основе контроля электропроводности водно-солевого раствора.
Исследовано влияние на скорость циркуляции различных параметров вакуум-камеры и технологических процессов циркуляционного вакуумирования. Определена форма струи, вытекающей из вакуум-камеры. Выявлны зоны с наибольшей и наименьшей интенсивностью перемешивания. Установлено, что при циркуляционном вакуумировании оптимальной является кратность циркуляции 2,5 -3,0.
С целью повышения интенсивности обработки был предложен способ вакуумирования, сочетающий особенности порционного и циркуляционного способов вакуумирования. Сущность способа заключается в том, что в процессе циркуляционного вакуумирования вакуум-камере придают вертикальное возвратно-поступательное перемещение со скоростью 1/3 - 1/2 скорости течения металла по сливному патрубку и амплитудой, равной толщине слоя жидкости в вакуум-камере.
В результате осуществления предложенного способа время достижения однородного расплава уменьшилось на 21,4 %.

Литература
Протасов А.В. Современные способы внепечной обработки стали. – «Машиностроение», Энциклопедия, т.IV-5,«Машины и агрегаты металлургического производства», М., 2000г. с.106-108.
Майоров А.И., Протасов А.В., Решетов В.И. Внепечная обработка стали в машиностроении. - Тяжелое машиностроение, №2, 1993, с.21-24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ ПОДКАТА НА УЧАСТКЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО РОЛЬГАНГА И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Андрей Викторович Саввин

Студент 6 курса
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им Н. Э. Баумана

Научный руководитель: П.Ю. Жихарев,
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Широкополосные станы горячей прокатки (НШПСГП) продолжают сохранять лидерство в производстве горячекатаных широких полос, оставаться основными поставщиками заготовки для листовых станов холодной прокатки.

Технология непрерывного литья позволила существенно увеличить массуслябов. В свою очередь производство горячекатаных полос из слябов повышенной массы привело к проблеме поддержания заданного температурного режима прокатки, сводящейся к обеспечению постоянства распределения температуры конца прокатки по длине готовой полосы при формировании на входе в чистовую группу клетей так называемого температурного клина.
Передача подката по промежуточному рольгангу приводит к существенному и неравномерному охлаждению подката (до 100 градусов и более) к моменту входа подката в первую клеть чистовой группы. Отмеченный перепад температур существенно усложняет процесс прокатки в чистовой группе, приводит к перегрузке в первых клетях, неравномерному распределению температуры по длине готовой полосы, и, соответственно, непостоянством физико-химических свойств.
В работе проанализированы способы снижения охлаждения подката, применяемые для современных НШПСГП, имеющих производительность свыше 4 млн. т/год.Показано, что при проходе подката по промежуточному рольгангу наиболее эффективно экранированиепри помощи теплосохраняющего устройства псевдоактивного теплоаккумулирующего экранирования.
Целью данной работы является повышение эффективности теплоэкранирования на промежуточном рольганге НШПСГП.
В данной работе рассмотрена проблема потерь тепла подкатом на участке промежуточного рольганга, рассчитаны электрические и тепловые параметры системы, разработана конструкция оборудования для экранирования подката.

Литература

1. http://www.findpatent.ru/patent/226/2268791.html
2. *Целиков А.Н., Смирнов В.В*. «Прокатные станы».
3. *Хлопонин В.Н., Тинигин А.Н.* «Способы снижения охлаждения подката на промежуточном рольганге широкополосного стана горячей прокатки». Статья – ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». 2015.
4. *Никитин Г.С., Восканьянц А.А., Крюков К.А.* «Расчет энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана». методическое указание – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.

УДК 669

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ

Максим Николаевич Сеник

Магистр 2 года,
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»

Способы волочения труб

Методом волочения можно производить трубы широкого сортамента различного профиля поперечного сечения. Некоторый сортамент труб только волочением и можно получить, такие как: толстостенные малого диаметра, капиллярные, некруглые профили. Из-за своей высокой производительности данный метод довольно широко распространен. Волочение применяют для

производства труб диаметром от 0,1 до 500 мм, с толщиной стенки от 0,01 до 40 мм и длинной 15000 мм как из черных, так и из цветных металлов, а так же различных сплавов, включая труднодеформируемые. Как правило, волочению подвергаются бесшовные трубы (иногда и сварные) для уменьшения и диаметра и толщины стенки. Реже только для уменьшения диаметра. Иногда этим способом пользуются так же для увеличения диаметра, данный процесс называют «раздачей» трубы.

Существуют пять способов волочения:

- Без оправки;
- На короткой (неподвижной) оправке;
- На плавающей (самоустанавливающейся);
- На длинной (подвижной) оправке;
- Раздача трубы;

Безоправочное волочение

Используется для уменьшения диаметра трубы и калибровки наружного диаметра. Безоправочное волочение применяется вместе с холодной периодической прокаткой и волочением на оправке. Этот метод считается главным ля производства труб общего назначения диаметром от 6 до 20 мм. Коэффициент вытяжки составляет порядка 1.5 и снижается с увеличением отношения толщины стенки к диаметру. При используемых на практике обжатиях за проход (порядка 30%) по диаметру трубы изменение толщины стенки составляет 0,03-0,1 мм. При безоправочном волочении поверхность труб часто ухудшается, т.к. уже присутствующие дефекты увеличиваются в своих размерах.

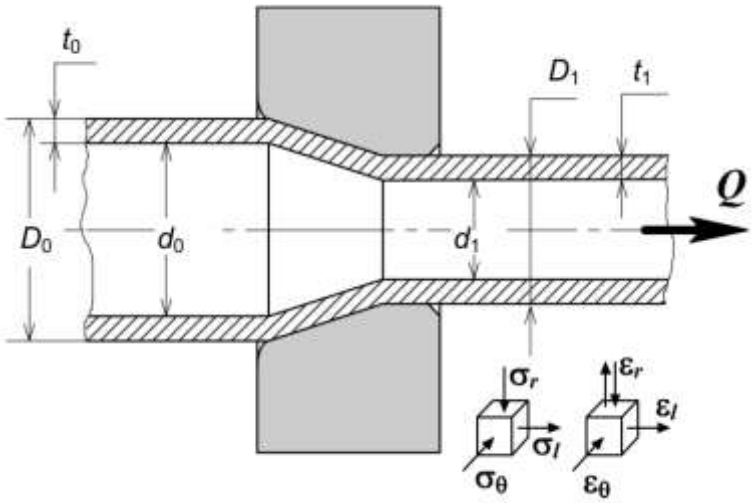


Рисунок 2 - Безоправочное волочение
1-труба, 2- волока, 3- люнет

Волочение на неподвижной оправке

При волочении на неподвижной оправке имеет место калибровка внутреннего диаметра и уменьшение толщины стенки трубы. Вытяжка за проход 1,2-1,5. Данным методом производят трубы диметром от 18 до 20 мм с толщиной стенки от 0.9 мм и выше. Обжатие по толщине стенки за проход до 30% при обжатии по диаметру 12%.

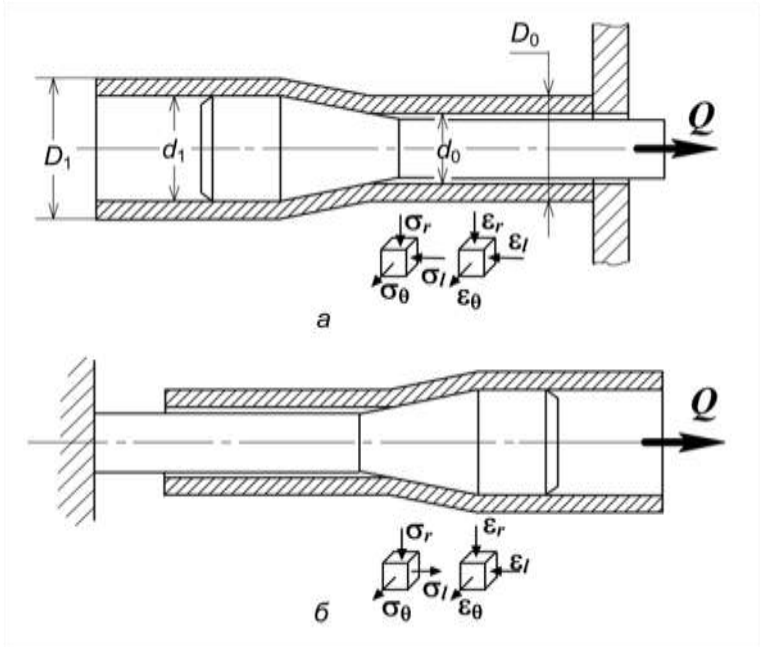


Рисунок 3 - Волочение на неподвижной оправке

Волочение на плавающей оправке

Используется при производстве длинных труб с малым диаметром. В этом методе, по сравнению с волочением на неподвижной оправке, для одинаковых деформаций по толщине стенки требуются большие обжатия по диаметру, т.к. используется коническая оправка. Коэффициент вытяжки - до 1,8. На плавающей оправке рисунке 4 возможно осуществлять процесс волочения труб почти неограниченной длины, причем перед волочением они могут быть свернуты в бунт.

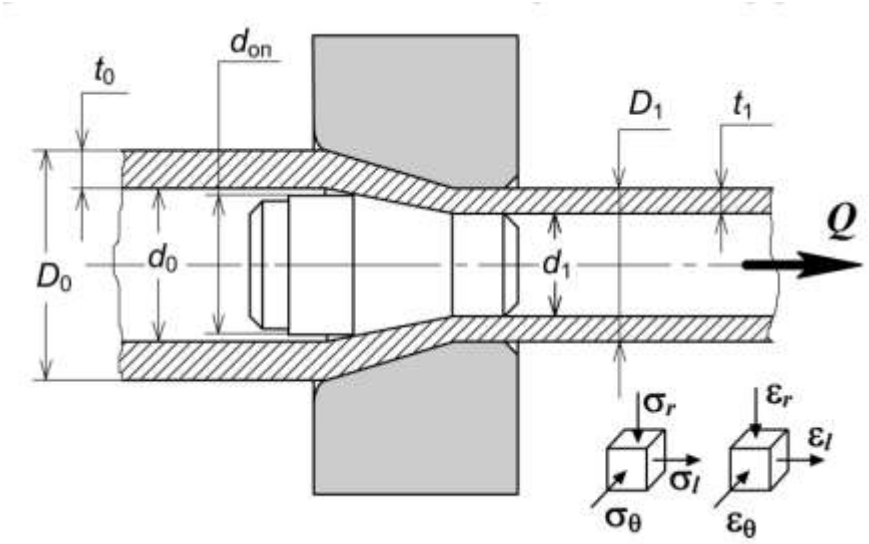


Рисунок 4 - Волочение на плавающей оправке

Волочение на длинной оправке

Волочение на длинной оправке приведено на рисунке 5. Применяют для большого обжатия по стенке, а так же как единственно возможный способ изготовления труб малых диаметров (менее 0,2 мм). При волочении оправка движется со скоростью трубы. Под действием трения труба захватывается оправкой, в результате чего возможны большие обжатия по толщине стенки за 1 проход, превышающие 60% при коэффициенте вытяжки до 2,3. Качество поверхности, получающееся при холодном оправочном волочении, зависит от исходной

шероховатости, от контактных давлений, от смазки и от степени деформации. Значительное обжатие по диаметру дают плохое выглаживание неровностей, большие обжатия по стенке улучшают качество поверхности.

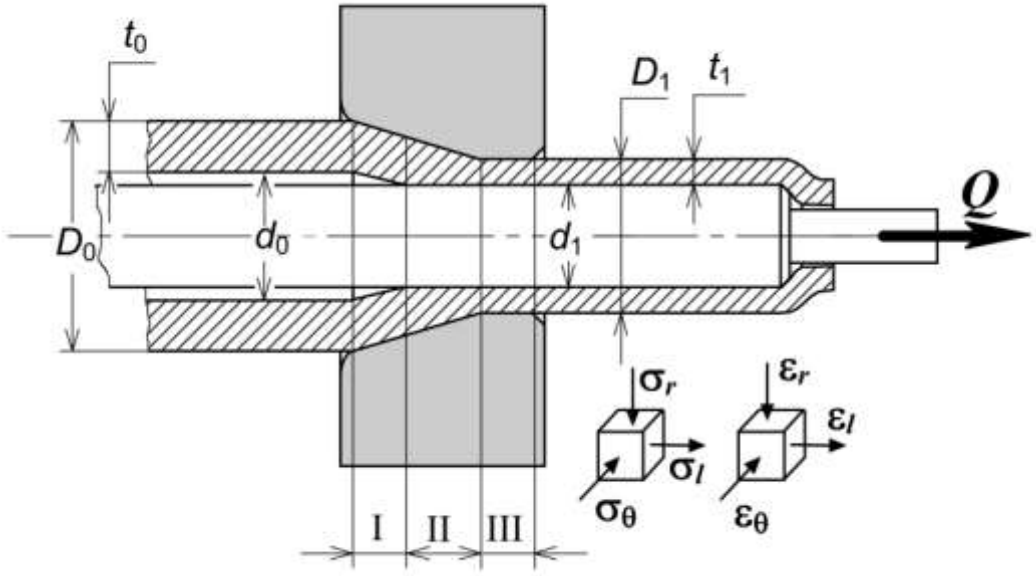


Рисунок 5 - Волочение на длинной оправке

Раздача на оправке

Применяют для большого обжатия по стенке, а так же как единственно возможный способ изготовления труб малых диаметров (менее 0,2 мм). При волочении оправка движется со скоростью трубы. Под действием трения труба захватывается оправкой, в результате чего возможны большие обжатия по толщине стенки за 1 проход, превышающие 60% при коэффициенте вытяжки до 2,3. Качество поверхности, получающееся при холодном оправочном волочении, зависит от исходной шероховатости, от контактных давлений, от смазки и от степени деформации. Значительное обжатие по диаметру дают плохое выглаживание неровностей, большие обжатия по стенке улучшают качество поверхности.

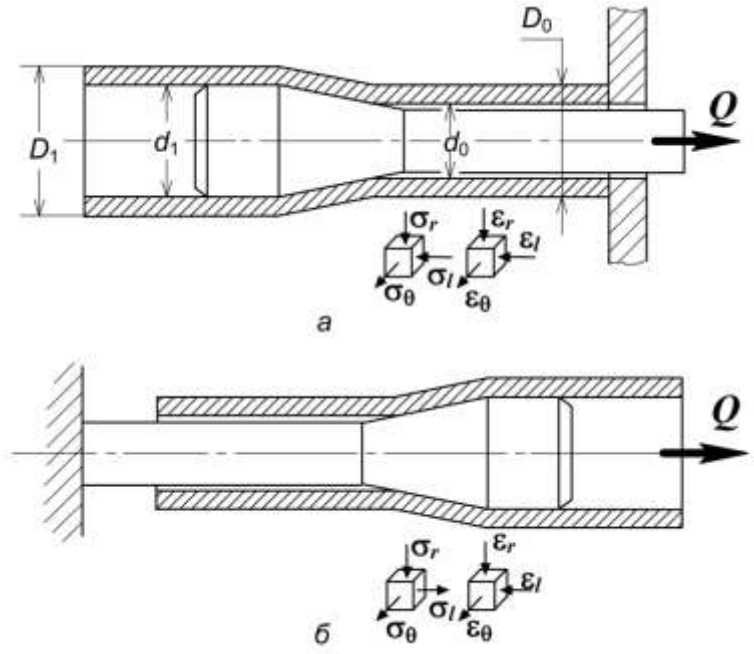


Рисунок 6 - Раздача на оправке

Литература
1. *Кофф З.А., Соловейчик П.М., Алешин В.А., Гриншпут М.И*. Холодная прокатка труб. Металлургиздат, 1962.
2. *Осадчий В.Я. , Вавилин А. С., Зимовец В.Г., Коликов А.П.* Технология и оборудование трубного производства , 2001.
3. *Шевакин Ю.Ф., Глейберг А.З.* Производство труб. Металлургия, 1968.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СХОЖДЕНИЯ УГЛА КРОМОК ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Марк Игоревич Сидоренко

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 во всех промышленно развитых странах мира наблюдается быстрое увеличение доли сварных труб в общем объеме производства, что объясняется значительными технико-экономическими преимуществами производства на трубоэлектросварочных агрегатах. Получение качественных труб во многом зависит от параметров сварки и качества сварного шва. Угол схождения кромок трубной заготовки в трубоэлектросварочных агрегатах при высокочастотной сварке является важным технологическим фактором, от которого зависит качество сварного соединения.
В работе проанализированы существующие на сегодня методы осуществления стабильных процессов сварки заготовок. На основе проведенного анализа была разработана методика, позволяющая уменьшить влияния непостоянности величин геометрических размеров и механических свойств штрипса. Приведено техническое обоснование сделанного выбора.
Также приведен расчет калибровки валков последнего закрытого калибра, обеспечивающего удовлетворительную формовку заготовок. Из приведенных расчетов сделан вывод о целесообразности использования предложенной калибровки.

УДК 621.771.23

АСУ ТП СТАНА 320 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Полина Александровна Сидоренко

Студентка 6курса ,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: М.О. Миронова,
заместитель заведующего кафедрой «Оборудование и технологии прокатки»

На стане 320 холодной прокатки, предназначенного для прокатки полос и лент из прецизионных сплавов, в данный момент, невозможно осуществить прокатку ленты. Основной проблемой является отсутствие синхронизации между приводом клети и приводом моталок. Из-

за существующей проблемы, в начальный момент прокатки может происходить разрыв ленты или, наоборот, появление на ней волн, что нарушает режимы прокатки.

Для устранения рассинхронизации предлагается осуществить оснащение оборудования стана 320 ХП автоматизированной системой управления технологическим процессом. Помимо решения первоначальной проблемы АСУ ТП позволит измерять параметры прокатки для проведения исследований, которые позволят повысить качество проката и производительность стана.

Для осуществления автоматизации стана 320 холодной прокатки необходимо добавить в линию дополнительное контрольно-измерительное оборудование.

В первую очередь, предлагается установить систему автоматического регулирования плоскостности полосы (САРП). САРП управляет работой одновременно нескольких локальных систем управления отдельными устройствами и механизмами стана на основании данных о ходе процесса прокатки и результатов измерения плоскостности полосы с помощью специальных измерителей.

Базой САРП является прибор, позволяющий определить плоскостность полосы в реальном режиме времени. Основным способом определения плоскостности полосы на станах холодной прокатки в настоящее время является косвенное определение плоскостности по распределению натяжения по ширине полосы.

Следующим ключевым звеном в АСУ ТП станет система автоматического регулирования толщины полосы (САРТ). Ее назначение – обеспечение минимальной продольной разнотолщинности готовой полосы. Основным критерием оценки САРТ является точность регулирования, обеспечиваемая совершенной аппаратурой управления и быстродействующими приводами изменения раствора валков.

Учитывая предлагаемые системы, примерная компоновка стана 320 ХП будет иметь вид, показанный на рисунке 1.

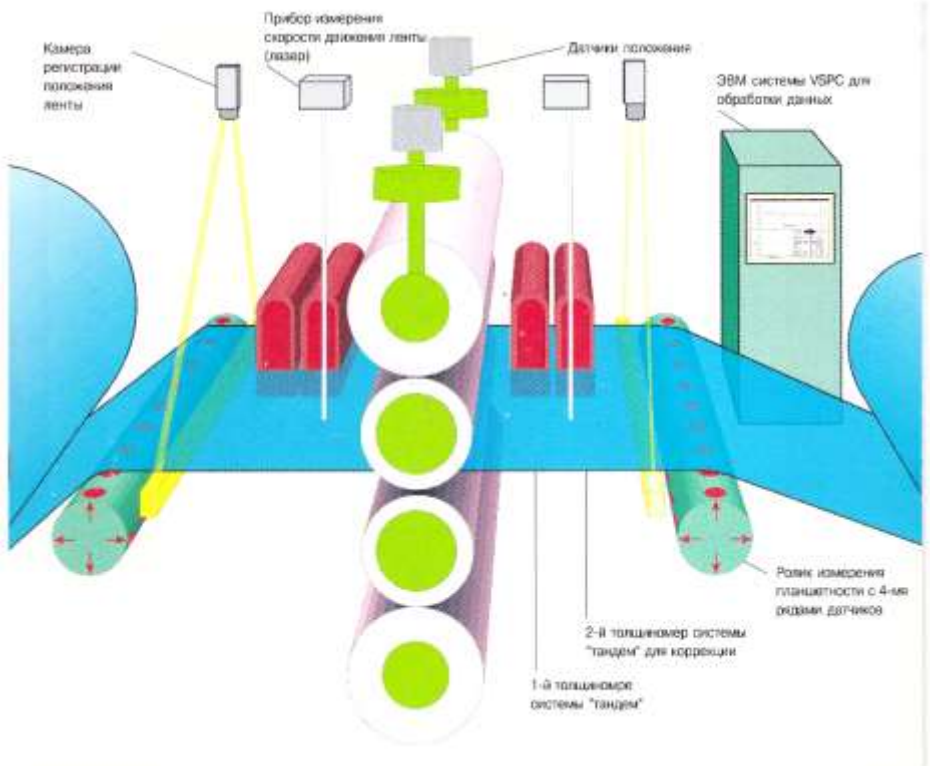


Рис. 1. Компоновка оборудования с АСУ ТП

УДК 53.084.823

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ РЕБРИСТЫХ ТРУБ. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ РЕБРА ТРУБЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ.

Михаил Витальевич Слиж

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»,
заместитель декана ф-та «Машиностроительные технологии»

Область применение ребристых труб широка. Такие трубы можно увидеть в теплообменных и холодильных установках. Потребность в ребристых трубах весьма значительна, т.к. использование ребристых труб обеспечивает высокую эффективность по теплоотдаче. В область ее применения входят: теплообменные аппараты промышленных холодильных, криогенных установок, теплообменники для химической промышленности и тепловых станций, экономайзеры котельных и тепловых установок.

Основные преимущества ребристых труб по сравнению с гладкими трубами:

1) значительное повышение тепловой эффективности
2) наибольший эффект при испарительно-конденсационном теплообмене;
3) снижение габаритов теплообменных аппаратов в 1,3…3,0 раза, и следовательно, материалоемкости, что влечет за собой снижение затрат и экономию ресурсов.

Ребристые трубы могут быть как монометаллические – из черных и цветных металлов, так и биметаллические из различных металлов.

Производство монометаллических труб из сталей не технологично, в виду невозможности получения труб с высоким коэффициентом оребрения. А основной проблемой при применении монометаллических ребристых труб из цветных металлов является их низкая коррозионная стойкость в отдельных средах и низкие прочностные характеристики.Однако эти проблемы возможно решить путем применения биметаллических труб – стальной сердечник обеспечивает высокие эксплуатационные показатели, в то время, как «рубашка» из цветных металлов имеет высокие технологические показатели и обладает хорошей теплопроводностью. При использовании биметаллических труб мы можем получить высокий коэффициент оребрения.

Технологический процесс изготовления прокаткой ребристых биметаллических труб отличается некоторыми особенностями. Для их производства наиболее широко применяют сочетания алюминия — латуни алюминия — меди; алюминия — стали.

Ребристые трубы с наиболее распространенными сочетаниями металлов алюминий— латунь и алюминий — сталь соединяют, как правило, механическим способом.

Биметаллические трубы, соединяемые механически, изготавливают либо совместной прокаткой, либо раздачей отверстия внутренней несущей трубы. При изготовлении прокаткой биметаллические трубы собирают с небольшим зазором. Применение исходных заготовок, собранных с натягом, нецелесообразно, так как при прокатке наружная заготовка раскатывается на внутренней, что приводит к образованию зазора между ними. Для получения плотной посадки с гарантированным натягом непосредственно в процессе обжатия ребер при совместной прокатке на заключительной стадии деформации необходимо небольшое дополнительное радиальное обжатие металла трубы во впадинах между ребрами. Для этого у последних нескольких комплектующих дисков предусматривают больший диаметр и меньшие толщину и угол гребня, чем у дисков, расположенных перед ним, которыми окончательно формовались ребра. Прокатка биметаллических труб осуществляется без оправки, роль которой фактически выполняет внутренняя несущая трубка.

Проведем исследование профиля ребристой трубы с точки зрения теплоотдачи. Вид профиля и его форма влияют на конечные параметры готовой биметаллической трубы. Моделирование и анализ профиля биметаллической трубы были произведены методом расчета, показанного на рисунке 1.1 в программном обеспечении ANSYS.

Рисунок 1.1 – Выбор метода расчета

Далее был произведен выбор типа элемента и построена модель профиля одного диска готовой биметаллической трубы.

Фиолетовым цветом показан стальной сердечник, а бирюзовым – алюминиевая рубашка (рисунок 1.2).

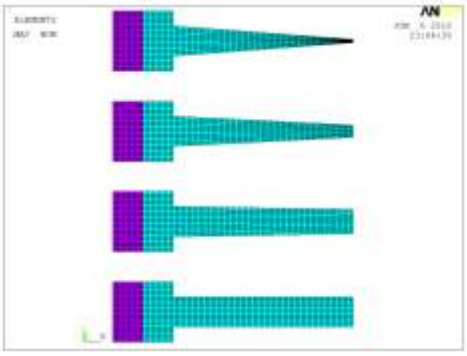


Рисунок 1.2 – Моделирование профилей биметаллических ребристых труб

Получение ребристых труб требуемого качества, а так же, с необходимыми параметрами, напрямую завит от калибровки рабочего инструмента, потому как мы имеем дело с профилем, имеющим сложную геометрию. Результаты моделирования профиля трубы показаны на рисунках 3.2.1 и 3.2.2.

На рисунке 1.3 построены профиль диска биметаллической трубы с прямым углом скоса. Варьируя угол, получили разные итоговые значения. Профиль под номером 2 (сверху вниз) приближен к существующим на сегодняшний день. Как видно, профиль 3 обеспечивает самую лучшую теплоотдачу, по сравнению с остальными.

На рисунке 1.5 изображены модели, фактически точно повторяющие профиля существующих биметаллических труб. Профиль под номером 3 – повторяет в точности профиль ребристых биметаллических труб.

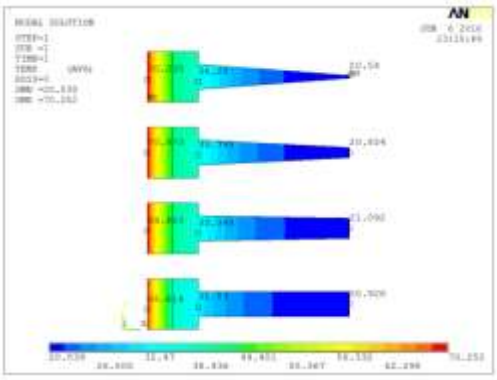


Рисунок 1.3 – Сравнение распределений температур в различных профилях ребристых труб (прямой профиль)

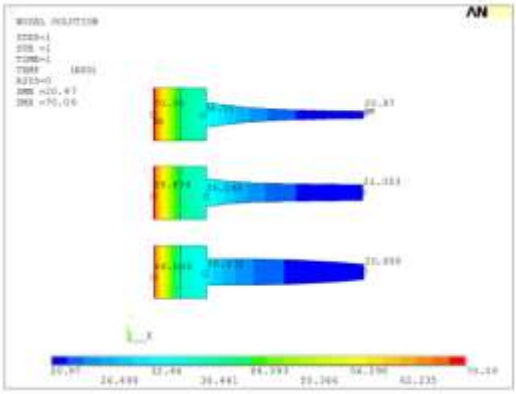


Рисунок 1.4 – Сравнение распределений температур в различных профилях ребристых труб (кривой профиль)

Литература

Целиков А.И. Специальные прокатные станы. – М.: Металлургия, 1971. – 209-238 с.
*Королев А.А.*Механическое оборудование прокатных цехов. – М.: Металлургия, 1965.
*Иванов А.В.*Лекции «Моделирование с помощью программного обеспечения ANSYS», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2016.

УДК 621.771

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НА СТАНЕ 5000 АО «ВМЗ»

Андрей Павлович Степанов

Студент 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»

Биметаллические материалы являются особым видом металлопродукции с уникальным сочетанием свойств. Плакированные листы, с основным слоем из углеродистой (низколегированной) стали и покрывающим его слоем из коррозионностойкой стали, традиционно применяются во многих отраслях машиностроения: нефтехимическая (корпуса реакторов, колонн, сосудов и т.п.), атомная и энергетическая (трубные решетки, сосуды и т.п.)

судостроительная (корпуса, переходные элементы, сосуды, танки и т.п.). К настоящему моменту на нефтепромыслах ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» построен и успешно эксплуатируется трубопровод из биметаллических труб диаметром 325 мм и протяженностью более 25 км. В результате проведенных промысловых испытаний образцов труб сделано заключение, что срок службы трубопроводов из плакированных труб составляет не менее 30 лет.

В данной работе рассматривается возможность получения биметаллического листа, состоящего из низколегированной стали и плакирующего слоя из коррозионностойкой стали, с прочным соединением между ними. Этот вопрос является актуальным, так как требуется повышение долговечности трубопроводов при высокой коррозионной активности добываемых ресурсов. Поэтому разрабатывается возможность производства биметаллического листа на стане 5000 АО «ВМЗ» из двухслойных заготовок, полученных сваркой взрывом. Проведены опытные прокатки биметаллических листов на лабораторном стане кафедры «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н. Э. Баумана. Проведен анализ результатов опытных прокаток на лабораторном стане, в том числе энергосиловых параметров, микроструктуры основного, плакирующего и переходного слоёв, физико-механических свойств. Проведена оценка качества и свойств проката в объеме требований НТД. Разработаны рекомендаций по технологическим параметрам производства на стане 5000 коррозионностойкого биметаллического листового проката по ГОСТ 10885-85. Разработан рабочий план на производство опытной партии биметаллического проката в условиях АО «ВМЗ».

Оборудование стана 5000 способно без дополнительных модернизаций производить биметаллический лист 09Г2С + 08Х13. Производство сравнительно тонких (12-16 мм и менее) биметаллических листов из комбинации сталей 09Г2С + 08Х18Н10Т рекомендуется производить из двойных слябов, полученных сваркой двух биметаллических плит с плакировкой внутрь.

ОСЕВАЯ РЕГУЛИРОВКА ПРОКАТНЫХ КЛЕТЕЙ

Сергей Васильевич Федотов

Студент 6 курса
Кафедра «Оборудование и технологии проката»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Миронова М.О.
Доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Для осуществления настройки прокатного стана перед прокаткой, предусматривается следующая регулировка:

- вертикальная (зазор между валками)
- осевая (форма калибра)

В данной работе представлен механизм осевой регулировки валков клети 450 г мелкосортного прокатного стана 280, который находится на ГУП «Литейно - прокатный завод» в городе Ярцево.

Клеть устанавливается в направляющие плитовины и фиксируется гидрозажимами. Также на раме смонтирован механизм осевой регулировки валков. Он представляет собой двойную рычажную систему при помощи, которой производится совмещение ручьёв верхнего и нижнего валков. Для каждого валка собран отдельный механизм осевой регулировки, поэтому валки могут перемещаться независимо друг от друга в осевом направлении.

У этой конструкции имеется ряд минусов. Весь механизм представляет собой двойню рычажную систему - 4 регулировочных винта.

В моей работе представлены альтернативные версии исполнения механизма осевой регулировки, и выбор более оптимального, для данного оборудования

Литература

Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы. Металлургиздат, 1956.
Слоним А.З., Сонин А.Л. Машины для правки листового и сортового материала.
М.: Машиностроение, 1975.
Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение,1978.
Марочник сталей и сплавов. Под общ.ред. Сорокина В.Г. М.: Машиностроение,1989.

УДК 62-1/-9

ПРЕСПЕКТИВЫ РАЗВИТЯ ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНОЙ ЛЕНТЫ ШИРИНОЙ БОЛЕЕ 200 ММ

Илья Викторович Шинкеевич[(1)], Алексей Андреевич Шуков[(2)]

Студенты 6 курса, магистр 2 года[(1)], магистр 2 года[(2)]
кафедра «Оборудование и технология прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: А.Г.Колесников,
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технология прокатки»

Получение амфорных материалов уже давно вышло за рамки лабораторных исследований и мелкосерийного производства. Эти материалы нового поколения находят все более широкое применение в различных областях современной техники. Наибольший эффект дало использование лент амфорных сплавов в качестве сердечников трансформаторов и источников вторичного питания. Благодаря уникальным электрическим, магнитным, механическим свойствам они стали незаменимы в современной радиоэлектронике.
Широко используются амфорные и мелкокристаллические ленты в качестве высокотемпературных припоев для различных ответственных соединений. Очень перспективно применение быстрозакаленных материалов как катализаторов в химической промышленности.
В последнее время методы получения быстрозакаленных лент даже рассматриваются как наиболее быстрый и эффективный путь получения листового продукта, минующий традиционные стадии металлургического передела.
В настоящее время в промышленности применяются 5 метода закалки расплава, позволяющие в различных своих модификациях получать ленты определенной ширины:
а) Центробежная закалка
б) Закалка на диске
в) Прокатка расплава
г) Центробежная закалка
д) Планетарная закалка на диске
Основой этих методов является приведение расплава в контакт с поверхностью быстро вращающегося барабана-холодильника. Наиболее распространенным в промышленности стал метод закалки плоской струи.
Кроме чисто экономических требований к этому методу – высокой производительности и низкой себестоимости продукции, основным является требование необходимости получения стабильного геометрического качества ленты по всей ее длине[1].
Анализ современного развития технологии закалки расплава на вращающемся барабане-холодильнике показывает, что в настоящее время на предприятиях нашей страны не

существует установок для получения аморфной ленты шириной более 150 мм. На сегодняшний день известны несколько типов опытных и промышленных установок для получения быстрозакаленной ленты [2].

Ленту из аморфного сплава на основе железа с максимальной шириной 213 мм согласно уровню техники можно использовать для изготовления распределительного трансформатора с мощностью менее 2000 кВА, но из нее сложно создавать распределительные трансформаторы с большей мощностью.

Распределительные трансформаторы с мощностью более 2000 кВА спроектированы и изготовлены из аморфной ленты. Для распределительного трансформатора с мощностью более 2000 кВА, для получения преимущества от аморфного сплава необходимы более широкие ленты из аморфного сплава. Принимая во внимание преимущество распределительных трансформаторов, изготовленных из аморфного сплава, с точки зрения экономии энергии, представляется срочно необходимым использование аморфного сплава в качестве материалов для железного сердечника в крупноразмерных трансформаторах. Поэтому, существует огромный запрос на создание широкой ленты из аморфного сплава на основе железа, с шириной 220 мм и более[3].

Литература

1. *Аникин Д.Ю.* Расчет технологических параметров процесса спиннингования на основе изучения физико-химических свойств аморфизирующихся расплавов. Диссертация МИСиС. Москва 2004 г.

2. *Цымбал М.А*. Взаимосвязь качества быстрозакаленных металлических лет с динамикой их формирования на вращающимся барабане-холодильнике. Диссертация МИСиС. Москва 1991 г.

3. Широкая лента из аморфного сплава на основе железа и способ ее изготовления: пат. RU 2569327 C1 Рос. Федерация:МПК^{51}H01F 1/153/ *Чжоу Шаосюн, Лю Годун*, патентообладатель – Эдванст текнолоджи энд матириализко. заявл 27.09.2012 опубл. 20.11.2015.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНОЙ ЛЕНТЫ

Алексей Андреевич Шуков,Илья Викторович Шинкеевич

Магистры 2курса
кафедра «Оборудование и технология прокатки»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: А.Г.Колесников,
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технология прокатки»

Аморфные материалы[1], отличаются от кристаллических твердых тел отсутствием периодического порядка

В последнее время сильно возросло значение аморфных материалов и сплавов обладающих особыми свойствами и обладающими рядом преимуществ:

- Низкие удельные потери
- Высокое электрическое сопротивление
- Отличные электромагнитные характеристики в широком диапазоне частот (до 1 мГц)
- Возможность дальнейшей миниатюризации и повышения эффективности электронных устройств
- Снижение искрового тока и подавление шумов
- Экономия электроэнергии
- Более короткий (на 25%) цикл производства изделий из аморфных лент по сравнению с пермаллоями, что снижает энергетические затраты заводов-изготовителей

• Экологически достаточно чистое производство изделий из аморфных материалов по сравнению, например, с ферритами.

В настоящее время в промышленности применяются 4 метода закалки расплава, позволяющие в различных своих модификациях получать ленты определенной ширины.

1. Chill-block melt spinning (CBM8)-закалка цилиндрической струи расплава на быстровращающемся диске.
2. Planar flow casting (PPC)-метод закалки плоской струи.
3. Twin-roll casting (TKC)-двухвалковый метод закалки.
4. Melt drag (MB)-метод экстракции расплава.

На практике часто применяются различные усовершенствования, позволяющие объединять достоинства различных методов. При закалке методом плоской струи используется ролик для поджима ленты или барабан, направляющий сходящую ленту в резервуар-охладитель. Для получения широких лент практикуется ижектирование расплава из нескольких, расположенных в определенном порядке отверстий или нескольких щелей.

Быстрозакаленныесплавы [2]являются основой для создания легких, особо прочных конструкционных материалов и главным образом, для изготовления витых сердечников силовых трансформаторов, характеризующихся низкими энергетическими потерями.

Закалка расплава на вращающемся барабане-холодильнике - быстропротекающий, очень чувствительный к всевозможным возмущениям процесс, не все его параметры можно измерять и корректировать, неизбежны флуктуации и изменения во времени. При современных высоких требованиях к качеству лент, различии литейных свойств расплавов, отработка оптимальной технологии для каждого данного сплава на данной установке становиться серьезной исследовательской задачей.

Таким образом для производства и расширения сферы применения быстрозакалённых сплавов, а так же получения оптимальных служебных свойств требуется поддержание всех технологических параметров в течении всего процесса, а так же автоматический контроль для получения высококачественных лент.

Закалка расплава на вращающемся барабане-холодильнике - быстропротекающий, очень чувствительный к всевозможным возмущениям процесс, не все его параметры можно измерять и корректировать, неизбежны флуктуации и изменения во времени. При современных высоких требованиях к качеству лент, различии литейных свойств расплавов, отработка оптимальной технологии для каждого данного сплава на данной установке становиться серьезной исследовательской задачей. Имеющиеся эмпирические зависимости, опытные результаты, полученные на других установках, могут указать только направление поиска вследствие сложности и многофакторности эксперимента, невозможности полностью воспроизвести все параметры, так или иначе влияющие на процесс. После запуска процесса скорректировать технологические параметры для получения аморфной ленты заданной толщины практически невозможно, т.к. процесс протекает очень быстро — не более нескольких минут. Ошибка в выборе технологических параметров может стоить очень дорого, особенно при серийном промышленном производстве. Выбор оптимальных технологических параметров, которые в настоящее время подбираются эмпирически, в значительной степени определяется уровнем физико-химических свойств аморфизирующихся расплавов. При этом наибольшее влияние на формирование ленты оказывают вязкость, плотность и поверхностное натяжение, величины, которые определяются только химическим составом.

Больше потери в условиях полупромышленного и промышленного производства с одной стороны определяются высокой нестабильностью технологии, о другой - повышенными требованиями к геометрическим характеристикам лент.

Результаты расчетов и взаимосвязь технологических параметров

В работе[3] ,был выбранасистема Fe-Si-P-B и на основе построенной математической модели были выявлены зависимости параметров, а именно:

- зависимости толщины ленты и средней температуры зоны от времени,

- зависимости времени запуска технологии от технологических параметров и физических свойств,
- зависимости толщины ленты и средней температуры зоны от технологических параметров и физических свойств,
- зависимости формы жидкой зоны в подсопельной области от технологических параметров и физических свойств.

Литература.

1.Интернет ресурс: https://interlink.jimdo.com
2. *Цымбал М.А.* Взаимосвязь качества быстрозакаленных металлических лет с динамикой их формирования на вращающимся барабане-холодильнике. Диссертация МИСиС. Москва 1991 г.
3. *Аникин Д.Ю.* Расчет технологических параметров процесса спиннингования на основе изучения физико-химических свойств аморфизирующихся расплавов. Диссертация МИСиС. Москва 2004 г.

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-11

УДК 621.3.049.75

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ОПТИЧЕСКИМИ МЕЖСОЕДИНЕНИЯМИ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАНОСПУТНИКАХ

Антон Андреевич Абрамов, Антон Михайлович Лаухин

Студенты 3 курса
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Высокая стоимость запуска современных космических аппаратов (далее КА) дает дорогу спутникам малых размеров, поэтому для ускорения выхода данных КА в серию предлагается улучшение энергоэффективности, увеличение помехоустойчивости, снижение тепловыделения посредством внедрения многослойных печатных плат с использованием оптических волноводов.

Запуск современного спутника дорогой и долгий процесс, поэтому круг их задач определен и ограничен Наноспутник - достаточно простой в изготовлении эксплуатации и утилизации аппарат. В перспективе, это доступный организациям с ограниченным бюджетом аппарат, который может решать широкий круг задач так нужных человечеству, например: предотвращение чрезвычайных ситуаций, составление точнейших метеорологических прогнозов, мониторинг природных ресурсов, наблюдение ближнего космоса, и другие практические и научные задачи.

Одним из главных преимуществ является то, что группа наноспутников дает возможность получить динамическую картину Земли. То есть, наблюдать одну точку на карте “он-лайн” с периодом в несколько часов притом, что традиционные спутники наблюдают ее в лучшем случае раз в месяц. Таким же образом можно обеспечивать связь в труднодоступных районах, путем связи с группой спутников связанных в одну сеть.

Динамика инвестиций ряда крупных компаний предрекает большое будущее малым спутникам.

Электронная часть наноспутника на данный момент является во многом его слабым местом, так как она склонна получать помехи из космического пространства, потреблять значительное количество энергии и выделять немалое количество тепла, которое не принять малому корпусу.

В связи с этим предлагается внедрять многослойные печатные платы с оптическими волноводами. Их применение позволяет если не исключить выше обозначенные проблемы, то значительно сократить их влияние. Так, например, батареи и аккумуляторы составляют значительную часть от веса аппарата, улучшение энергоэффективности позволяет снизить массу, что удешевляет аппарат. Отведение тепла на столь малом аппарате (100×100×100 мм) – сложнейшая задача и важен каждый джоуль, выделяемого тепла.

Проводя сравнение оптопроводников с традиционными проводниками, мы так же видим значительный выигрыш по скорости передачи данных.

По сравнению с традиционными электрическими соединениями, оптические волноводы предлагают:

Отсутствие Джоулевских потерь в проводниках

Пониженное затухание сигнала по длине

Отсутствие взаимного влияния отдельных линий передачи

Кроме того, реализация этой идеи возможна при помощи хорошо отработанной технологии фотолитографии для толстых слоев жидких полимеров. Имеющиеся разработки позволяют успешно сочетать эту технологию с традиционной элементной базой и создавать печатные платы с оптическими волноводами.

Печатная плата с оптическими межсоединениями представляет собой многослойную печатную плату с интегрированными оптическими слоями, среди которых есть минимум один слой, в котором сформированы оптические волноводы.
В первом приближении МПП с оптическими межсоединениями, помимо типовых элементов электрических цепей, имеет следующие элементы:
передающий элемент (например, VCSEL - вертикально-излучающий лазер с длиной волны 780, 850, 980 нм; выбирается элемент с длиной волны 850 нм с количеством излучающих лазерных диодов равным количеству каналов передачи данных);
принимающий элемент (p-i-n-фотодиод, согласованный по параметрам с матрицей вертикально-излучающих лазеров);
оптический волновод (планарный волновод, представляющий собой полимерную сердцевину, окруженную полимерным материалом оболочки, имеющим более низкий коэффициент преломления по сравнению с коэффициентом преломления сердцевины);
элементы ввода/вывода сигнала в оптический волновод (микрозеркала, микросферы, линзы и другие элементы, позволяющие перевести оптический сигнал из вертикальной плоскости в горизонтальную плоскость и попасть в сердцевину).

Способы монтажа приёмо-передающих компонентов, а также ряда элементов ввода/вывода могут быть реализованы возможностями технологии поверхностного монтажа.
Полимерные оптические волноводы могут быть получены посредством лазерной абляции полимера сердцевины коротковолновыми лазерами с длиной волны пико- и фемтометрового диапазона. Также они могут быть получены ионно-плазменным и плазмо-химическим травлением. Но среди всех способов наиболее технологичным является способ формирования оптических волноводов методами фотолитографии.
На рисунке 1 представлен процесс формирования внутренних слоев МПП с оптическими волноводами, полученными методами фотолитографии.

Литература
1. *А. А. Романов, А. Е. Тюлин*Малоразмерные космические аппараты мониторинга подвижных объектов ОАО «Российские космическиесистемы»: состояние и перспективы // РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕПРИБОРОСТРОЕНИЕИ ИНФОРМАЦИОННЫЕСИСТЕМЫТом 2. Выпуск 1. 2015 // С. 3-10.
2. Power-Efficient, High-Bandwidth Optical Interconnects for High Performance Computing Fuad Doany, IBM T. J. Watson Research Center

УДК 621.793.182

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПОДЛОЖКОДЕРЖАТЕЛЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ВУП-11М С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОДАЧИ ПОТЕНЦИАЛА СМЕЩЕНИЯ НА ПОДЛОЖКУ И ЕЁ НАГРЕВА

Максим Юрьевич Акишин[(1)], Роман Михайлович Жуков[(1)], Халиль Ласен [(2)], Елизавета Ильинична Малеванная [(2)]

Студенты 3 курса [(1)], магистры 1 года [(2)]
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»

Пленки ITO (оксид индия-олова) широко применяются в солнечных батареях, сенсорных дисплеях, органических светодиодах и т. д., что обусловлено их высокой оптической прозрачностью в видимом спектре, высоким коэффициентом отражения в инфракрасной области спектра, а также низким поверхностным сопротивлением [1]. В свою очередь, сверхпроводящие тонкопленочные покрытия WSi(вольфрам-кремний) находят свое применение в сверхпроводниковых однофотонных детекторах (SSPD) [2], которые являются незаменимыми устройствами при регистрации слабого лазерного излучения, для исследований в ИК-области спектра, в квантовой криптографии [3].

Различные исследования характеристик пленок ITOпоказывают, что температура подложек при нанесении и напряжение смещения [4] влияют на свойства получаемых покрытий. Для оценки этого влияния необходим подложкодержатель с возможностями нагрева подложек и подачи потенциала смещения.

Целью данной работы является разработка конструкций двух подложкодержателей для нанесения пленок ITOи WSi с возможностями нагрева подложек, подачи на них потенциала смещения и закрепления подложек различных размеров.

Разрабатываемые конструкции подложкодержателей должны отвечать следующим требованиям:

1. Обеспечивать нагрев подложек до 300 °C;
2. Обеспечивать подачу потенциала смещения до 60 В (DC);
3. Обеспечивать крепление подложек от 10x10 мм до 100x100 мм для нанесения ITO, и от 10x10 до 48x60 для нанесения WSi.

Для крепления подложек различных размеров была предложена конструкция, из двух пластин, позволяющих прижимать подложки размером от 10x10 мм до 100x100 мм.

Для осуществления нагрева было предложено два варианта нагревателей: ламповые и плоские резистивные, из которых были выбраны резистивные, т. к. они компактнее и удобнее в эксплуатации. Однако такие нагреватели необходимо защитить от запыления, так как распыляемый материал может замкнуть резистивные дорожки, что нарушит работу нагревателя. Для этого было решено сделать защитную крышку из листа металла.

Потенциал смещения целесообразно подавать на основание подложкодержателя, к которому будут прижиматься подложки. Однако в таком случае появляется проблема распространения потенциала смещения на корпус камеры. Чтобы это предотвратить, было решено крышку к корпусу крепить с помощью керамических клеммников. В итоге между крышкой и основанием имеется изолятор, и потенциал смещения между ними не распространяется и не переходит на камеру установки.

Пленки WSi наносятся одновременно из двух источников, находящихся под углом 45°, для чего в конструкции подложкодержателя был предусмотрен уголок.

Расположение конструкции под углом позволяет упростить систему крепления подложек. В данном случае было решено сделать планку, которая препятствует падению подложек с основания. Планка может перемещаться вдоль основания, что позволяет закреплять подложки различных размеров ровно по центру.

Меньший размер закрепляемых подложек, а также более простая система их крепления позволяет сделать конструкцию данного подложкодержателя более компактной, чем аналогичную для ITO. Это делает работу с подложками более удобной.

Основные элементы подложкодержателей были выполнены из дюралюминия и алюминия. В качестве системы нагрева были использованы плоские резистивные нагреватели на 24 В. Потенциал смещения подается на торец основания. На двух противоположных углах выполнены крепления для термопар.

По итогам работы были разработаны и изготовлены конструкции двух подложкодержателей для нанесения пленок ITOи WSi. Оба подложкодержателя обеспечивают нагрев подложек до

300 °С, подачу потенциала смещения до 60 В и могут располагать на себе подложки различных размеров.

Литература

Park S.K., Han J.I., Kim W.K., Kwak M.G. Deposition of indium tin oxide films on polymer substrates for application in plastic flat panel displays. Thin solid films, vol. 397, October, 2001 p. 49-55.

Однофотонный детектор ИК-диапазона на основе сверхпроводящих пленок WSi / В.А. Селезнев [и др.] // Материалы XX международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника». – 2016. – Т. 1. – С. 121-123.

Флоря И.Н., Корнеева Ю.П., Корнеев А.А., Гольцман Г.Н. Сверхпроводниковый однофотонный детектор для среднего инфракрасного диапазона на основе узких параллельных полосок // Труды МФТИ. − 2011. − Т. 3. − № 2. − С. 49-52.

Бажин А.И., Троцан А.Н., Чертопалов С.В., Стипаненко А.А., Ступак В.А. Влияние режима магнетронного распыления и состава реакционного газа на структуру и свойства пленок ITO // Физическая инженерия поверхности. – 2012. - № 4. – С. 342-349.

УДК 621.382.2/.3

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЭМС-ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ MICROSOFTPROJECT

Сергей Сергеевич Бланк, Виктор Юрьевич Здоровьев, Алексей Андреевич Фадеев, Артем Павлович Федюнин, Вячеслав Валерьевич Хриченко, Артем Александрович Ярмов

Магистры 1 года,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.Б. Цветков,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Электронная промышленность – одна из важнейших отраслей для любого государства, поскольку она обеспечивает электронной компонентной базой (ЭКБ) практически все остальные отрасли промышленности.

Сегодня при производстве военной и специальной продукции в Российской Федерации используется 65% импортной ЭКБ. Импортные микросхемы составляют 90% в секторе ВВСТ. Элементная база отечественного производства значительно устарела и технически отстала от мирового уровня.

В настоящее время России закрыт доступ к новейшим зарубежным изделиям микроэлектроники, в первую очередь - специального исполнения, предназначенным для военной отрасли. Единственный способ преодолеть отставание - восстановить собственную электронную промышленность [1, стр. 6].

Данная работа предлагает проект по организации производства гироскопов и акселерометров, основанных на технологии МЭМС (микроэлектромеханических систем), в нашей стране. Промышленные мощности разрабатываемого производства предполагается направить не только на удовлетворение нужд военно-промышленного комплекса Российской Федерации, но и на насыщение российского рынка микроэлектронными системами гражданского назначения.

Принцип работы разрабатываемых устройств

Принцип работы МЭМС-акселерометра

Акселерометр – это прибор, предназначенный для измерения кажущегося ускорения. Кажущееся ускорение – это разница между гравитационным и истинным ускорениями объекта. Принципиально акселерометр состоит из корпуса, подвижной массы и датчиков (рисунок).

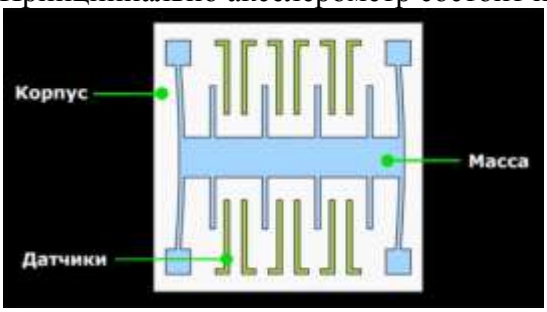


Рисунок 13 - Принципиальная схема акселерометра

Работа акселерометра основывается на конденсаторном принципе. Подвижная часть такой системы представляет собой обыкновенный грузик, который смещается в зависимости от ускорения устройства. По мере его смещения изменяется ёмкость конденсатора, а именно меняется напряжение. Исходя из этих данных, можно получить величину смещения грузика, а вместе с тем и искомое ускорение (рисунок).

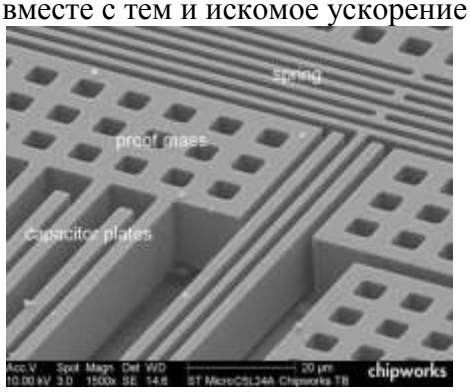


Рисунок 14 - Конденсаторная структура акселерометра

Конструкция акселерометра такова, что он реагирует только на ту составляющую ускорения, которая совпадает с направлением перемещения грузика, так называемой осью чувствительности прибора. Если ось только одна, датчик сможет передать данные об изменении положения объекта в пространстве только в пределах чувствительности оси. Чтобы увеличить чувствительность датчика, и получить точные данные об ускорении и направлении наклона объекта, необходимо две, а еще лучше три оси. Объединив в один прибор сразу три оси, можно вычислить положение объекта в трехмерном пространстве.

Для измерения величины ускорения по оси Z также используется подвижная масса, но закреплённая на пьедестале. При возникновении вертикальной силы, масса будет поворачиваться относительно своей точки закрепления, а детектировать величину ускорения можно за счёт разницы расстояния до датчиков (рисунок).

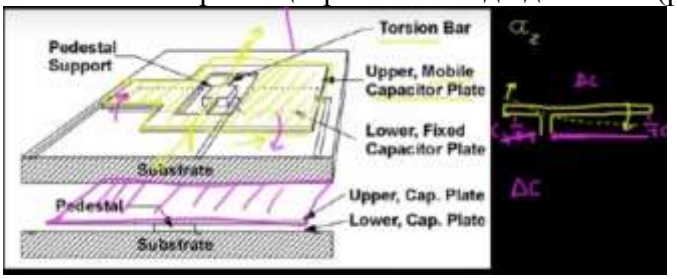


Рисунок 15 - Принцип действия акселерометра по оси Z

Принцип работы МЭМС-гироскопа

Гироскоп – устройство, реагирующее на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчёта.

Колебания генерируются путем подачи напряжения на гребенчатые приводы. При этом под действием электростатической силы рабочие тела осцилляторов подталкиваются друг к другу. Возвратное движение происходит за счет микропружин. При изменении угловой скорости начинает действовать сила Кориолиса, вызывающая смещение масс, пропорциональное величине угловой скорости (рисунок).

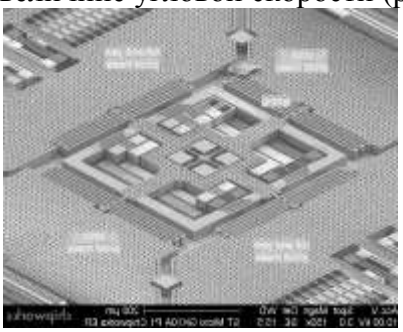


Рисунок 16 - Схема гироскопа

При вращении вокруг оси Y рамка колеблется в вертикальной плоскости (перпендикулярной подложке МЭМС): один осциллятор будет подниматься, другой – опускаться и наоборот. На верхнюю часть рамки и на подложку нанесены тестовые электроды. При колебаниях в вертикальной плоскости емкость между ними начнет изменяться, что можно детектировать и определить угловую скорость вращения. Измерение по оси X осуществляется аналогично, но используются другие две массы.

Для определения углового ускорения вокруг оси Z используются массы, участвующие также и в измерении ускорения вокруг оси Y. Силы Кориолиса в этом случае действуют в горизонтальном направлении и вызывают смещение масс, пропорциональное величине угловой скорости. При колебаниях в горизонтальной плоскости емкость между обкладками массы и гребёнки начнет изменяться, что можно измерить и аналогичным образом определить угловую скорость вращения. На рисунке представлен эскиз устройства, совмещающего в себе функции трехосного акселерометра и гироскопа.

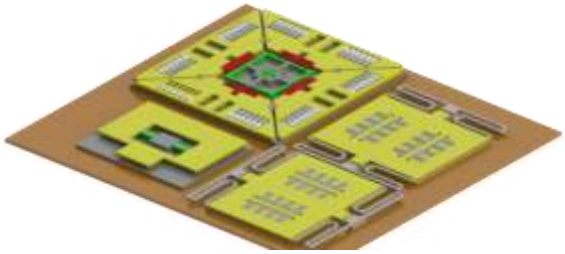


Рисунок 17 - Схема устройства гироскопа с акселерометром

Ориентировочные размеры представленной на рисунке структуры составляют порядка 3,5x3,5x1,5 мм.

Патентный поиск

Анализ существующей патентной базы

При подготовке данного проекта был проведен поиск патентов, в которых рассмотрены как технологии изготовления МЭМС-акселерометров и гироскопов в целом, так и конструкции этих устройств в частности.

При анализе патентов, выданных на территории Российской Федерации, выявлено, что исследованиями и производством МЭМС-устройств в России занимается не более десяти предприятий. Данный факт следует учитывать в реалиях настоящего времени, когда политика импортозамещения вынуждает Правительство изыскивать дополнительные возможности и стимулировать развитие производств высокотехнологичных систем.

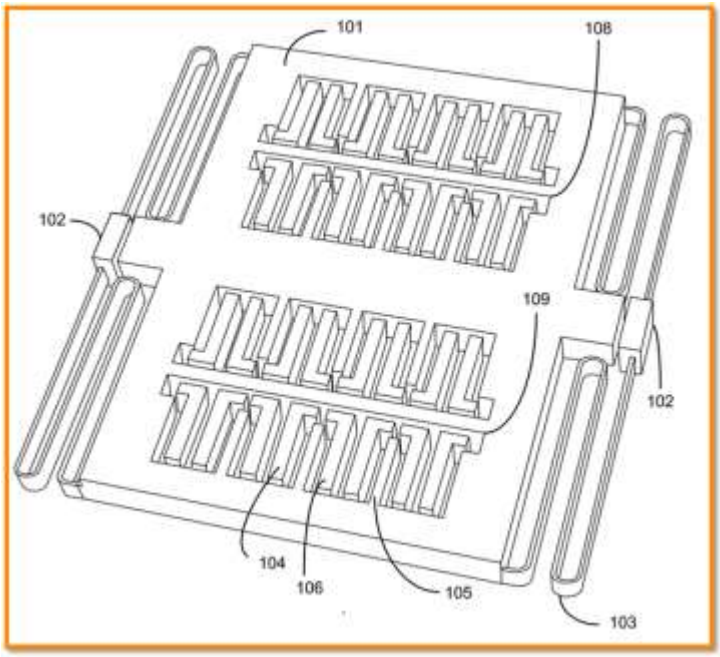
Наряду с указанным выше фактом было обнаружено, что подавляющее большинство патентов, связанных с МЭМС-гироскопами и акселерометрами, зарегистрировано на территории США различными университетами и предприятиями электронной промышленности. Поэтому при проведении патентного поиска внимание уделялось, в основном, именно зарубежным патентам.
Сравнение найденных патентов
Выбор патента, используемого в дальнейшем производстве, проходил в два этапа. Первый заключался в беглом осмотре всех патентов представленной тематики. Среди общего массива были выделены 11 самых современных и интересных с конструкторской точки зрения. Особое внимание уделялось патентам, включающим в себя совместное исполнение гироскопа и акселерометра, потому что наличие обоих этих устройств обязательно в изготовлении гаджетов, удовлетворяющих требования современной электроники.
Для более детального анализа и отбора патента, подходящего для производства, была использована техника бенчмаркинга. Отбор проводился по таким критериям, как:
полнота описания; совместность исполнения гироскопа и акселерометра;
простота конструкции;
доступность технологии;
точность работы устройства.
Каждому фактору был присвоен весовой коэффициент в соответствии с его значимостью в условиях мелкосерийного производства. Пример выбора патента на основе факторного анализа представлен в таблице .

Таблица 1 – Пример факторного анализа патентов на МЭМС-гироскопы и акселерометры

Название патента		Критерий						
	Весовой коэффициент	1	4	1	3	4	2	Итог
	Номер патента	Дата публикации	Полнота описания	Совместное исполнение	Простота конструкции	Доступность технологии	Точность работы устройства	
Multiple sense axis mems gyroscope having a single drive mode	US 2015 /0059473	2013 (5)	8	0	7	6	8	98
Method and structure for forming a gyroscope and accelerometer	US 2010/ 0109102	2010 (3)	9	10	8	9	7	**121**
MEMS gyroscope	US 2015/ 0033853	2014 (5)	6	10	6	7	4	95
Micro-electromechanical system inertial sensor	US 7,640,803	2004 (0)	7	10	8	8	6	106

Первыми были отсеяны патенты, имеющие недопустимые значения каких-либо из параметров, так, один из патентов, набрав должное количество баллов, был отсеян из-за недостаточной точности. Патент, набравший наибольшее число баллов в ходе сравнительного анализа, был

оценен как подходящий для использования в производстве и был утвержден для дальнейшего использования.



103 – пружина; 101 – колеблющаяся масса; 102 – жесткие элементы конструкции;
104, 106 – неподвижные зубцы; 105 – подвижные зубцы; 108, 109 - гребенка.
Рисунок 18 – Схема устройства, описанного в выбранном патенте

Номер выбранного патента – US 2010/0109102. Несмотря на то, что он не относился к числу новых, патент смог зарекомендовать себя доступностью изложенной в нем информации и технологией, не требующей многочисленного дорогостоящего оборудования.

Производство выбранных МЭМС-устройств

Ориентировочная программа выпуска – 500000 устройств/год. Пластины диаметром 100 мм.Площадь кристалла 20 мм^2. Количество кристаллов на подложке - 320.

Технология производства

Технология изготовления микроэлектромеханических устройств, согласно выбранному патенту, включает в себя семь основных этапов (рисунок) и является типовым для микроэлектронной промышленности.

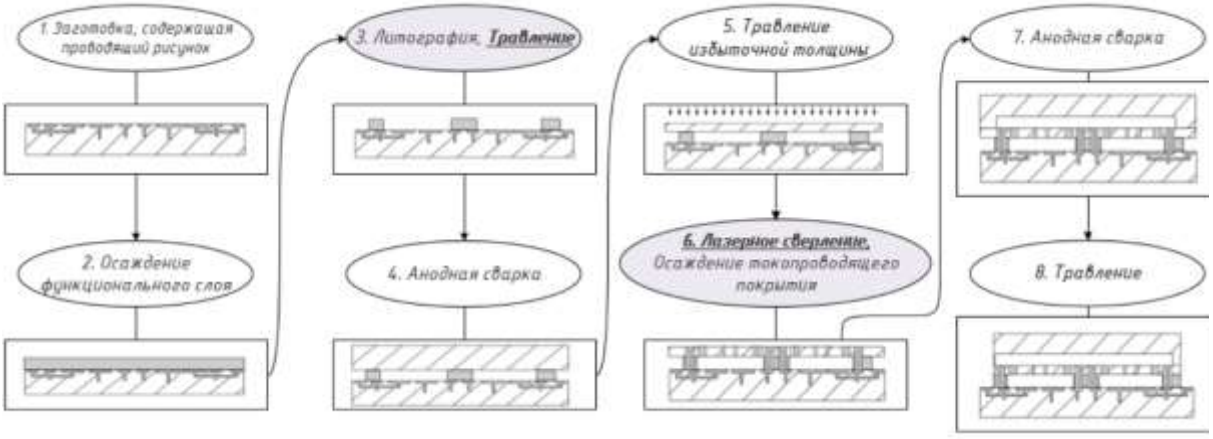


Рисунок 19 - Технологический маршрут производства

На первом этапе на исходную заготовку, представляющую собой кремниевую подложку, содержащую проводящий рисунок, производят процесс осаждения вакуумными методами медного функционального слоя. Следующий этап - нанесение фоторезистивной маски,

литография и травление, в результате чего получается необходимая топологии проводящего слоя, соответствующая требованиям изготавливаемого изделия. Четвёртая стадия - методом анодной сварки соединяют второй кремниевой подложки с первой со стороны проводящего слоя. Далее проводят этап травления избыточной толщины второй подложки, в соответствии с техническими указаниями. После этого происходит лазерное сверление отверстий, служащих для установления электрического контакта двух слоёв платы. Затем соединяют самый верхний слой, также представляющий собой керамическая пластину, все той же анодной сваркой. Конечной операцией является совместное травление двух верхних пластин для удаления избыточности материала по ширине пластин.

Экономическое обоснование проекта

Анализ рынка

Потребность отечественного и мирового рынка в изделиях, изготовленных по технологии МЭМС, оценена на основе отчета Status of MEMS Industry компании Yole Développement.

В 2012 году МЭМС-промышленности, по данным отчета, удалось увеличить продажи на 10% (до 11 млрд. долл.). Аналитики компании ожидают дальнейшего роста за 2012–2018годы с совокупными годовыми темпами роста, равными 12–13%. В результате в 2018 году будет продано 23,5 млрд. МЭМС-изделий на сумму в 22,5 млрд. долл. (рисунок).

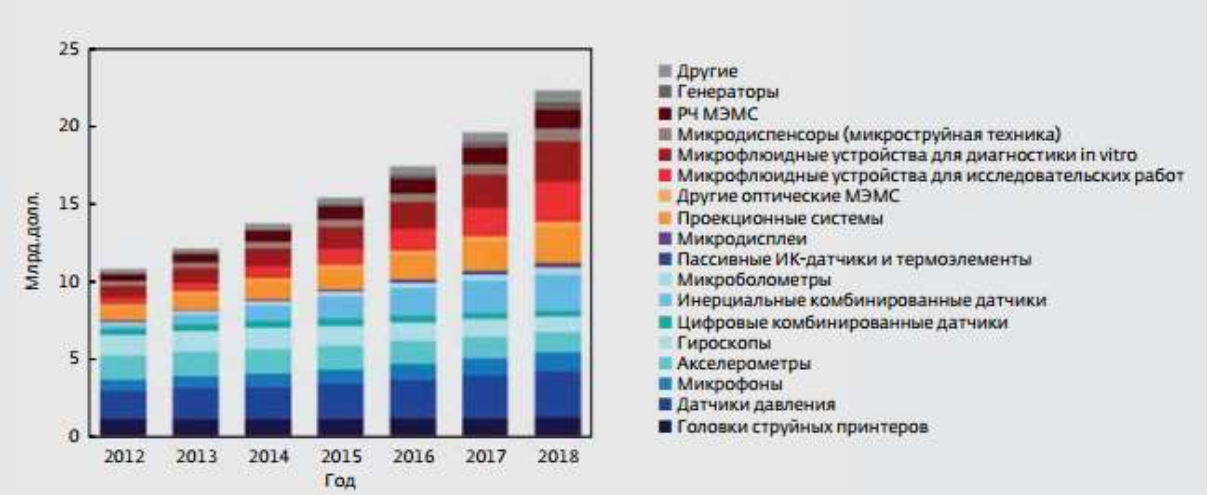


Рисунок 20 - Динамика рынка МЭМС

При более подробном анализе оказалось, что дешевые комбинированные инерциальные датчики быстрее заменяют дискретные датчики этого типа, сокращая рост доходов от их продаж. Расширяется применение комбинированных устройств в потребительских устройствах и автомобильной электронике, и на их долю приходится все больший объем продаж инерциальных датчиков. Акселерометр и гироскоп в одном корпусе, совместно использующие специализированную ASIC-схему в том же корпусе, лишь ненамного дороже одного гироскопа. Это существенно сократило продажи дискретных акселерометров.

О росте потребительского сектора рынка МЭМС свидетельствует следующее:

в 2018 году на мировом рынке будет продано 17,5 млрд. МЭМС для сотовых телефонов (в 2012 – 4,5 млрд.) на сумму в 6,6 млрд. долл.;

продажи инерциальных комбинированных устройств к 2018 году достигнут 2 млрд. долл.;

наибольшие продажи прогнозируются для датчиков движения;

лишь некоторые типы МЭМС близки к завершению развития;

многие МЭМС-датчики и электромеханические преобразователи (актюаторы) формируют наиболее доходные сегодня секторы рынка;

более 15 видов новых МЭМС появятся на рынке или будут разработаны.

Темпы роста рынка МЭМС для промышленных систем (от телекоммуникационных до аэрокосмических систем и систем военного назначения) составят 12%, МЭМС медицинского назначения – 22% [2, стр. 114].

По данным, приведенным на 2010 год, цена одного МЭМС-устройства составляет от 1 до 3 долларов [3, стр. 20].

Сетевое проектирование подготовки производства. Определение числа исполнителей

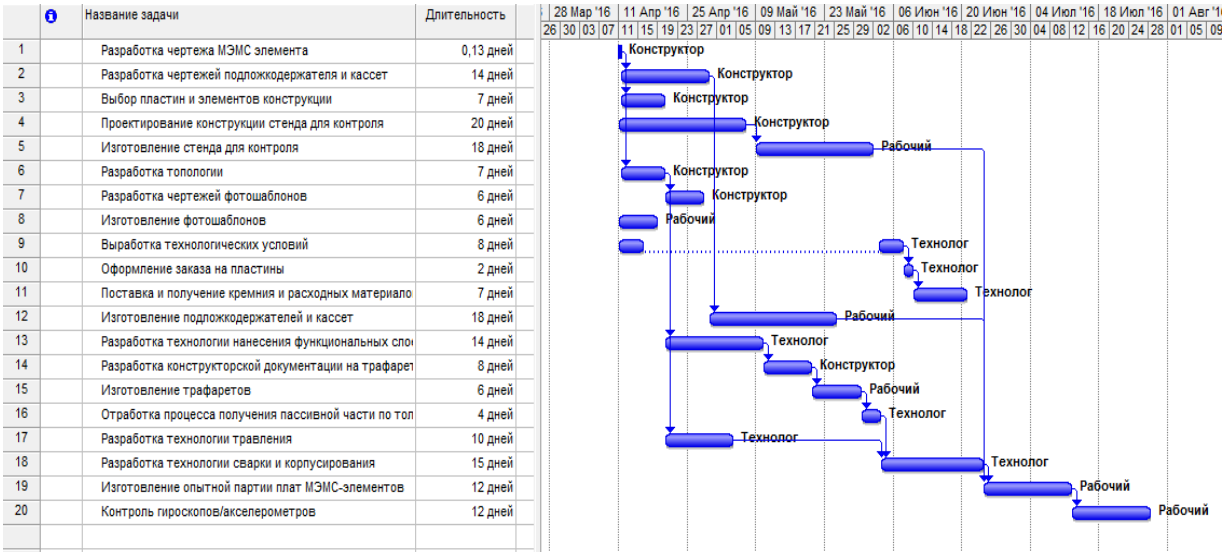
Для полноценной подготовки производства МЭМС-элементов требуется выполнить работы, представленные в таблице . Использование средств MicrosoftProject позволяет значительно упростить организацию подготовки производства.

Таблица 2 - Список работ при технологической подготовке производства

Название работы	Продолжительность, дней	Предшествующие работы	Исполнитель
Разработка чертежа МЭМС элемента	13		Конструктор
Разработка чертежей подложкодержателя и кассет	14	1	Конструктор
Выбор пластин и элементов конструкции	7	1	Конструктор
Проектирование конструкции стенда для контроля	20		Конструктор
Изготовление стенда для контроля	18	4	Рабочий
Разработка топологии	7	1	Конструктор
Разработка чертежей фотошаблонов	6	6	Конструктор
Изготовление фотошаблонов	6		Рабочий
Выработка технологических условий	5		Технолог
Оформление заказа на пластины	2	9	Технолог
Поставка и получение кремния и расходных материалов	7	10	Технолог
Изготовление подложкодержателей и кассет	18	2	Рабочий

Название работы	Продолжительность, дней	Предшествующие работы	Исполнитель
Разработка технологии нанесения функциональных слоев	14	6	Технолог
Разработка конструкторской документации на трафареты	8	13	Конструктор
Изготовление трафаретов	6	14	Рабочий
Отработка процесса получения пассивной части по толстопленочной технологии	4	15	Технолог
Разработка технологии травления	10	6	Технолог
Разработка технологии сварки и корпусирования	15	"16;17"	Технолог
Изготовление опытной партии плат МЭМС элементов	12	"12;5;18"	Рабочий
Контроль гироскопов/акселерометров	12	19	Рабочий

Для наглядности порядок исполнения работ был представлен в виде диаграммы Ганта, состоящей из полос, ориентированных вдоль оси времени (рисунок). Каждая полоса на диаграмме представляет отдельную задачу в составе проекта (вид работы), её концы — моменты начала и завершения работы, её протяженность — длительность работы. Вертикальной осью диаграммы служит перечень задач.



	Название задачи	Длительность
1	Разработка чертежа МЭМС элемента	0,13 дней
2	Разработка чертежей подложкодержателя и кассет	14 дней
3	Выбор пластин и элементов конструкции	7 дней
4	Проектирование конструкции стенда для контроля	20 дней
5	Изготовление стенда для контроля	18 дней
6	Разработка топологии	7 дней
7	Разработка чертежей фотошаблонов	6 дней
8	Изготовление фотошаблонов	6 дней
9	Выработка технологических условий	8 дней
10	Оформление заказа на пластины	2 дней
11	Поставка и получение кремния и расходных материало	7 дней
12	Изготовление подложкодержателей и кассет	18 дней
13	Разработка технологии нанесения функциональных сло	14 дней
14	Разработка конструкторской документации на трафарет	8 дней
15	Изготовление трафаретов	6 дней
16	Отработка процесса получения пассивной части по тол	4 дней
17	Разработка технологии травления	10 дней
18	Разработка технологии сварки и корпусирования	15 дней
19	Изготовление опытной партии плат МЭМС-элементов	12 дней
20	Контроль гироскопов/акселерометров	12 дней

Рисунок 21 - Диаграмма Ганта

Сетевой график (рисунок 22) является незаменимым инструментом в управлении проектами. Он отражает технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ, связывает их свершение во времени с учётом затрат ресурсов и стоимости работ с выделением при этом узких (критических) мест.

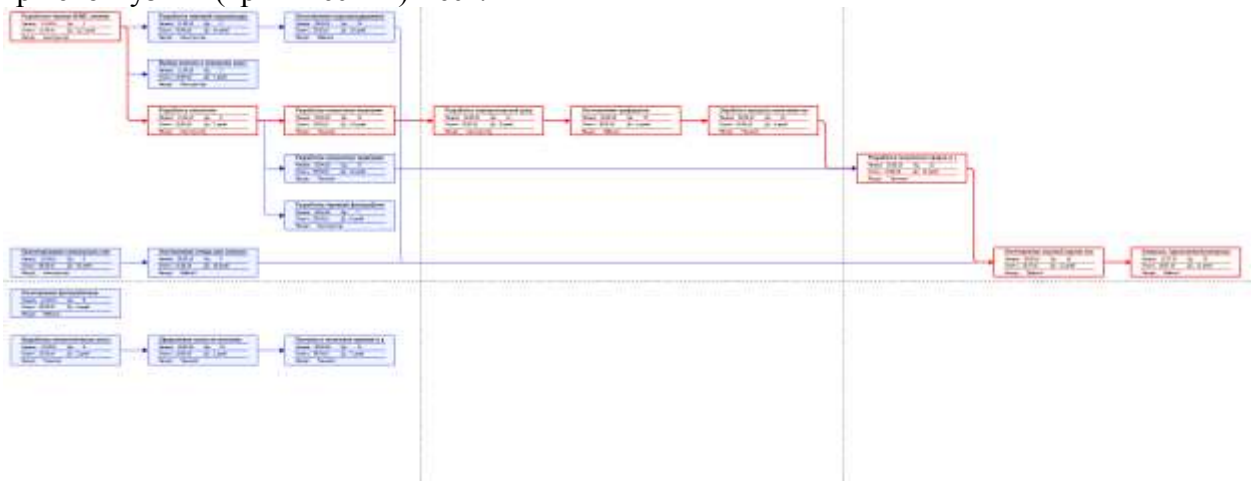


Рисунок 22 - Сетевой график исполнения работ

Исходя из сетевого графика был определен критический путь, то есть порядок выполнения работ, требующий наибольшего внимания и контроля.

Средства специализированного программного обеспечения Microsoft Project позволили также определить требуемое число исполнителей на каждом этапе подготовки производства и предоставить результаты в наглядной форме, как показано на 23.

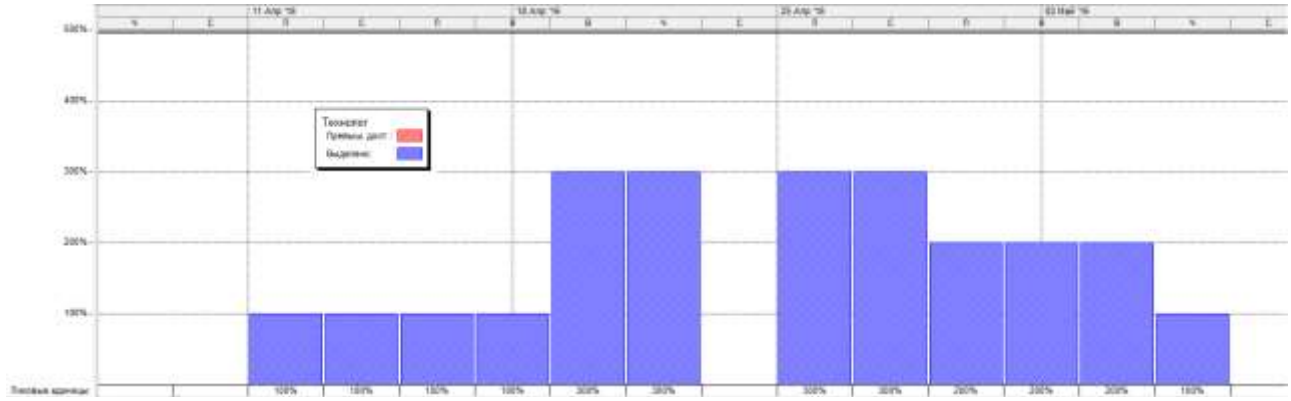


Рисунок 23 - Требуемое число технологов на каждом этапе подготовки производства

Заключение

В ходе выполнения данной работы были обозначены такие важные для организации производства МЭМС компонентов пункты, как:

принцип действия устройства, представляющего собой совмещенные в одном корпусе гироскоп и акселерометр, основанного на технологии МЭМС;

проведен патентный поиск, имевший цель найти наиболее технологичную и надежную конструкцию устройства;

разработан технологический маршрут изготовления данного устройства;

анализ рынка микроэлектронных устройств в России и мире показал, что предлагаемый проект по организации производства микроэлектромеханических устройств востребован, а продукция этого предприятия может занять свою нишу на рынке.

Литература

Борисов Ю. Электронная промышленность России: стратегия развития // Электронное издание «Электроника: наука, технология, бизнес». – 2006. - [Электронный ресурс]. – URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_807_105.pdf (дата обращения: 27.11.2016).

Гольцова М. Перспективы развития МЭМС. Интенсивный рост, новая движущая сила // Электронное издание «Электроника: наука, технология, бизнес». – 2013. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3872_243.pdf (дата обращения: 27.11.2016).

Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Акселерометры. // Электронное издание «Компоненты и технологии». – 2010. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010_03_20.pdf (дата обращения: 27.11.2016).

УДК 543.271; 533.5.08

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРОМ СКОРОСТИ

Денис Сергеевич Громов

Студент 2 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Базиненков
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Важным средством повышения качества и эффективности производства изделий электронной техники является внедрение прогрессивных технологических методов, особенно

нетрадиционных, которые позволяют решать принципиально новые задачи или обеспечивают более высокий уровень решения традиционных задач производства. Особенно актуален поиск альтернативных методов обработки в производстве продукции массового выпуска, таких, как приборы электронной техники. Одним из таких изделий являются полупроводниковые диоды, основным элементом которых является полупроводниковый диск, диаметром от 1,5 до 3,5 мм. Эти пластины получают методом струйно-абразивной обработки.

Метод струйно-абразивной обработки заключается в удалении материала заготовки при помощи смеси абразивного порошка и сжатого воздуха, который придает частицам необходимую для съема материала кинетическую энергию [1]. Однако при данном виде обработки большое значение имеет равномерность перемещения пластины или сопел, из которых подается абразивно-воздушная смесь (в зависимости от типа установки струйно-абразивной обработки). Неравномерность перемещения приведет к большому различию во времени нахождения под струей абразива разных частей пластины и, соответственно, к существенной неравномерности обработки. Установлено, что для обеспечения равномерности и качества обработки необходимо регулировка скорости перемещения обрабатывающих сопел от 0,05 до 0,3 м/сек [2].

Необходимый закон перемещения сопла обеспечивает механизм сканирования. Перемещение механизма сканирования может осуществляться с помощью приводов различных видов.

В работе был проведен анализ механизмов перемещения и способов регулировки скорости, который показал, что наиболее эффективным механизмом является пневмогидравлический привод с электрореологическим (ЭР) управлением (рис.1), который позволяет обеспечить заданный диапазон скоростей.

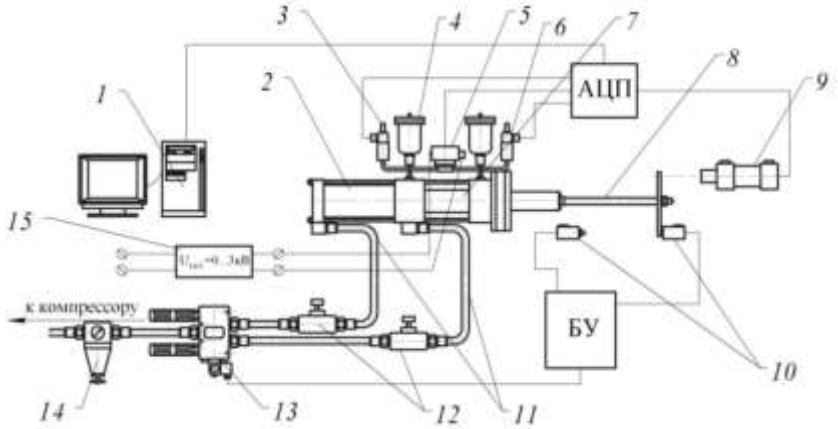


Рис. 1. Схема экспериментального пневмогидравлического привода

В работе проведен расчет электрических параметров ЭР дросселя (5): диэлектрическая проницаемость ЭР жидкости (ЭРЖ) и электрическая емкость ЭР дросселя составляют соответственно ε=2,32 и C=77,36 пФ. Рассчитанные параметры будут применены для организации системы автоматического управления (САУ) пневмогидравлическим приводом с ЭР управлением из условия отсутствия пробоя между электродами ЭР дросселя в ЭРЖ.

Экспериментально было определено, что зависимость перемещения штока (8) пневматического привода от давления, подаваемого в пневмоцилиндр (2), носит нелинейный характер. При входном давлении в 1 атм. средняя скорость равна 331,218 мм/с. Также был проведен эксперимент по измерению туннельного тока в ЭРЖ, в результате которого было выявлено, что зависимость туннельного тока в ЭРЖ от управляющего напряжения нелинейная. При подаче определенного напряжения ток постепенно возрастает, это связано с изменением структуры и свойств ЭРЖ со временем под действием электрического поля.

Литература
1. *Готра З.Ю.* Справочник по технологии микроэлектронных устройств. Львов: Каменяр, 1986. 287 с.
2. *Бер А.Ю., Минскер Ф.Е*. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М: «Высшая школа», 1986. 279 с.

УДК 543.271; 533.5.08

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ДРОССЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Павел Александрович Долинин, Олег Дмитриевич Якушев

Магистры 1 года
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Базиненков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Современный мир предъявляет всё более жёсткие требования к механизмам точных (прецизионных) перемещений, которые находят применение в множестве сфер: медицина (лазерная коррекция зрения), астрономия (адаптивные телескопы), электронное машиностроение (сканирующие зондовые микроскопы, установки фотолитографии), станкостроение и пр.

Существует множество устройств, приводов (механизмов перемещений), позволяющих осуществлять перемещения с высокой точностью: электромеханический (с шарико-винтовой передачей, с линейными актуаторами), гидравлический, пьезоэлектрический, магнитострикционный. Каждый механизм перемещений обладает рядом параметров, характеризующих его, таких как, нагрузочная способность, погрешность позиционирования и скорость перемещения, постоянная времени (характеристика быстродействия). Очевидно, что разные механизмы подходят для разных задач и выбираются исходя из индивидуального набора требований.

Достаточно перспективным механизмом перемещений является гидравлический механизм на основе магнитореологической жидкости (далее МР привод), который сочетает высокие нагрузочные и точностные характеристики.

В рамках научно-исследовательской работы, проводимой на кафедре МТ11 «Электронные технологии в машиностроении», возникла необходимость спроектировать управляемый напряжением универсальный магнитореологический (далее МР) дроссель, который регулирует расход через напорную магистраль трёхкоординатного гидравлического прецизионного МР привода.

1Гидравлический МР привод

Магнитореологический привод (рис. 1) был разработан в 1990-х годах на кафедре МТ11 для задач юстировки элементарных зеркал адаптивных телескопов[1]. Рассмотрим конструкцию привода.

Данный привод гидравлического штокового типа параллельной кинематики совмещает в себе такие параметры, как высокая нагрузочная способность (до 100 кг) и быстродействие (постояннная времени до 200 мс). За перемещение по одной координате отвечает пара гидроцилиндров, устройство нижнего, являющегося опорой, ничем не отличается от остальных, крышка выполнена в виде фланца.

В каждый гидравлический цилиндр конструктивно встроены по паре МР дросселей (рис. 2), один регулирует подачу МР жидкости в гидроцилиндр, второй – за слив из нее. МР дроссели в каждой паре цилиндров подключены по гидравлической мостовой схеме.

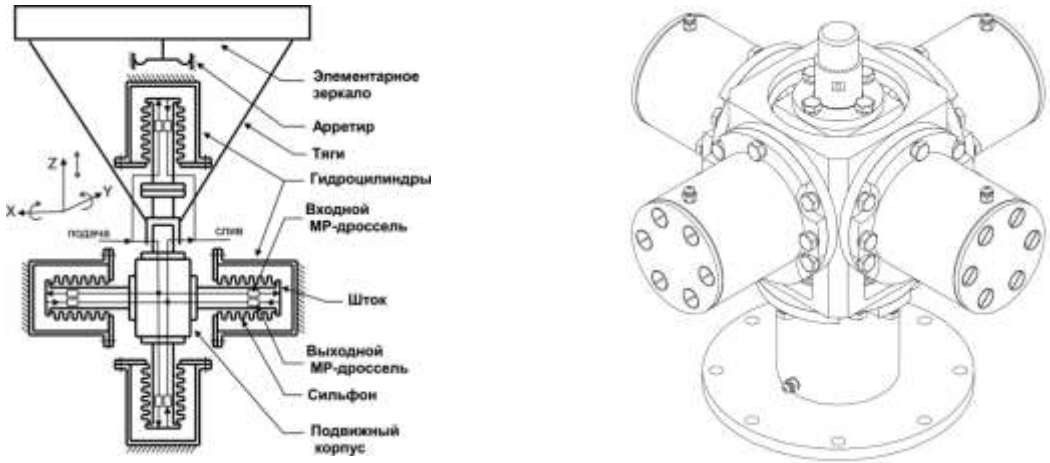
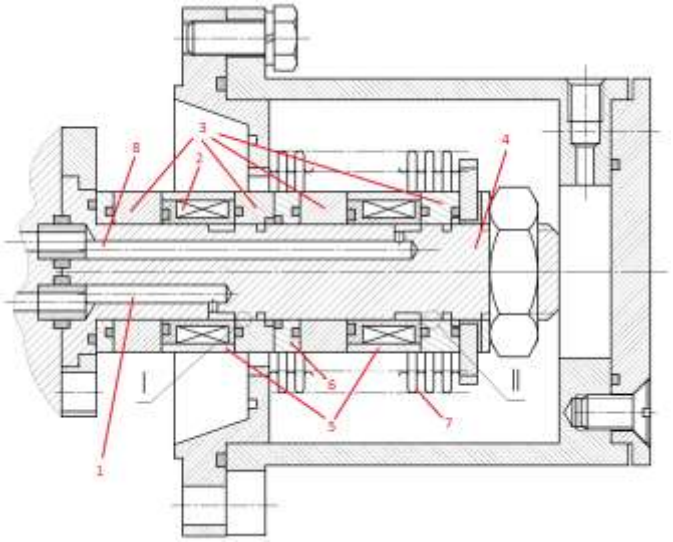


Рис. 1 – МР привод: схема (слева) [2], внешний вид без арретира и зеркала (справа)



1 – входной канал, 2 – катушка, 3 – магнитопровод, 4 – шток, 5 – магнитная втулка, 6 – магнитная изоляция, 7 – направляющая (гидроформованный сильфон), 8 – выходной канал

Рис. 2 – Гидроцилиндр в разрезе [3]

МР привод работает следующим образом. Жидкость через входной канал 1 (рис. 2) попадает из распределителя в гидроцилиндр, протекает в кольцевой канавке под катушкой 2, затем поступает в рабочий зазор (I – входной, II – выходной), размер которого в радиальном направлении составляет 200 мкм, где жидкость структурируется под действием магнитного поля. Магнитный поток, наводимый катушкой индуктивности, пронизывает шток 4, магнитопровод 3 и втулку 5, являющуюся замыкателем магнитного поля. В полости рабочего зазора в магнитопроводе нарезаны зубья, являющиеся концентраторами магнитного поля (рис. 3). Для магнитной изоляции между магнитопроводящими деталями присутствуют вставки типа 6 из алюминиевого сплава.

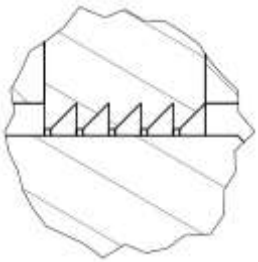


Рис.3 – Увеличенное изображение рабочего зазора с концентраторами магнитного поля

После зазора имеется ещё одна кольцевая канавка, соединённая с каналом, по которому жидкость попадает в полость между корпусом гидроцилиндра и сильфона 7, выполняющего одновременно роль герметизирующего и направляющего элемента. Из полости под действием давления она попадает в выходной канал 8, пройдя перед этим аналогичное структурирование под действием выходного дросселя.

Для перемещения поршня (штока) МРЖ подаётся в цилиндры, при помощи подачи электрического тока на управляющие катушки МР дросселей регулируется ее поступление в цилиндры, и тем самым создается разность давлений в цилиндрах, которая заставляет шток совершать перемещение.

2 Обзор конструкций МР дросселей

Как видно из вышеприведённых рисунков, МР дроссель (прочие конструкции схожи) состоит из катушки индуктивности, магнитопровода, образующих магнитную систему устройства, канала, по которому протекает жидкость, структурирующаяся под действием магнитного поля вследствие МР эффекта. Таким образом, создаваемое напряжение на обмотке катушки преобразуется в ток, который индуцирует магнитное поле, и через магнитопровод происходит намагничивание рабочего зазора и структурирование жидкости, т.е. локальное изменение её вязкости, следовательно, и возможного перепада давлений на дросселе. С помощью метода морфологического ящика можно проанализировать варианты конструкций дросселей и предложить качественно новое решение, затем проанализировать его и сравнить с существующими.

Катушка индуктивности, создающая магнитное поле, может быть расположена по-разному по отношению к каналу протекания жидкости – снаружи для небольших каналов, внутри для каналов большого диаметра, что экономит место (пространственный ресурс) в конструкции.

Уплотнения обеспечивают герметизацию конструкции. Можно выполнить канавки в каждом элементе конструкции, а можно поставить уплотнения только между крышкой и корпусом, герметичность в обоих случаях будет обеспечена.

Канал в дросселе может быть как кольцевым, так и плоским, в некоторых случаях винтовым, соответственно, это влияет на форму дросселя и расположение остальных элементов конструкции, некоторые конструкции содержат канал произвольной формы.

Корпус дросселя можно выполнить из магнитного материала, а можно из немагнитного, в некоторых патентах [4, 5, 6] указано, что в первом случае повышается управляемость. Недостатком существующей конструкции является взаимное влияние управляющих катушек друг на друга, а также индивидуальность и, как следствие, узкий спектр потенциальных МР приводов, для которых дроссель может быть использован.

Некоторые конструкции дросселей имеют второй канал, который не управляется магнитным полем, либо слабо управляется, что позволяет обеспечить минимальный постоянный расход через дроссель даже при приложении запирающего напряжения. Также данный канал выполняется в устройствах с большими скоростями деформации сдвига, при которых теряется целесообразность использования магнитореологического эффекта из-за больших скоростей течения, и дополнительный канал позволяет снизить расход через управляемый канал, что в свою очередь уменьшает скорость протекания жидкости в нём. Иногда упомянутый канал выполняют с механическим дросселированием.

Через систему, рабочей жидкостью в которой является МР жидкость, может прокачиваться как сама МРЖ, так и лишь масло, либо другая рабочая жидкость, в этом случае частицы должны оставаться в пределах дросселя, с этой целью устанавливают сетчатые элементы (существуют иные технические решения) на входе/выходе для их удержания внутри объёма канала.

Составим таблицу на основе рассмотренных конструктивных признаков (табл. 1).

Таблица 1. Конструктивные признаки МР дросселя

Признак объекта	Варианты реализации признаков			
	1	2	3	4
А	Внутри	Снаружи	-	-
Б	Везде	Только корпус	-	-
В	Кольцевой	Плоский	Винтовой	Произвольный
Г	Магнитный	Немагнитный	-	-
Д	Присутствует	Отсутствует	-	-
Е	Присутствует	Отсутствует		

3 Отбор конструктивных решений МР дросселей

Максимальное общее количество решений при указанном разбиении конструктивных особенностей составляет 2×2×4×2×2×2 = 128. Был проведён патентный поиск и отобраны решения из «ящика».

3.1 МР дроссель с винтовым каналом (вариант №1)

Конструктивные признаки: А2-Б2-В3-Г2-Д1-Е2 (катушка снаружи канала, уплотнения только на корпусе, канал винтовой, корпус немагнитный, проточный канал присутствует, ловушка отсутствует). Данный вариант был реализован в патенте СССР №777313[4]. Жидкость контролируется в спиральном канале, образованном корпусом 1 катушки 2 и винтовой поверхностью сердечника 3.

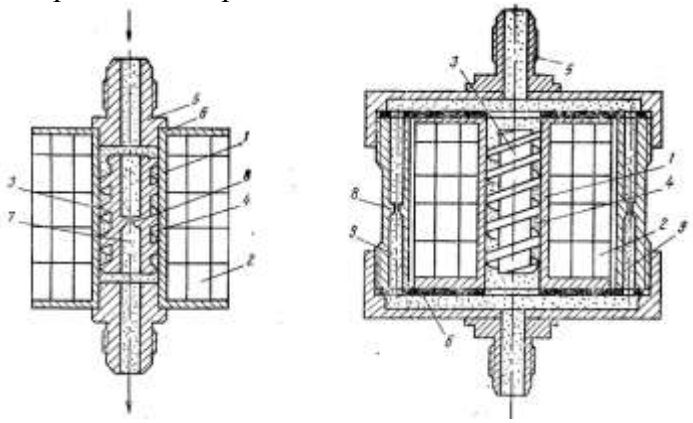


Рис. 4 – Магнитореологический дроссель с винтовым каналом и дополнительным проточным (слева), вариант исполнения проточного канала (справа) [4]

3.2 МР дроссель с магнитным корпусом (вариант №2)

Конструктивные признаки: А2-Б2-В2-Г1-Д2-Е2 (катушка снаружи канала, уплотнения только на корпусе, канал плоский (вертикальный), корпус магнитный, проточный канал отсутствует, ловушка отсутствует). Данный вариант реализован в патенте СССР №1024637 [5]. Жидкость меняет свои свойства в вертикальных каналах, образованных магнитопроводом 2 и шайбой 3.

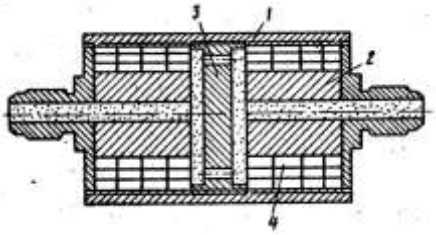


Рис. 5 – Магнитореологический дроссель с магнитным корпусом и двумя последовательно включёнными катушками индуктивности [5]

3.3 МР дроссель с сеточными заградителями (вариант №3)

Конструктивные признаки: А2-Б2-В2-Г1-Д2-Е1 (катушка снаружи канала, уплотнения только на корпусе, канал плоский (вертикальный), корпус магнитный, проточный канал отсутствует, ловушка присутствует). Вариант конструкции очень похож на предыдущий и реализован в патенте СССР №1366756 [6]. Жидкость меняет свои свойства в каналах, образованных магнитопроводом 3 и шайбой 5 с каналами 6 для свободного протекания жидкости. Ловушки показаны пунктиром (элементы 9).

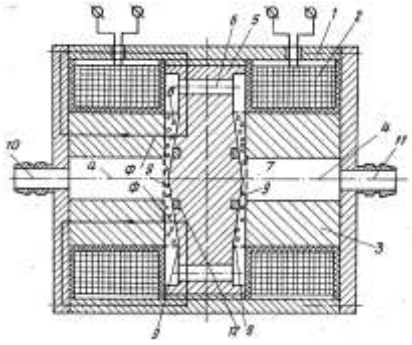


Рис. 6 – МР дроссель с магнитной шайбой и сеточными заградителями [6]

3.4 МР дроссель с карманом и ловушкой (вариант №4)

Конструктивные признаки: А2-Б2-В4-Г1-Д2-Е1 (катушка снаружи канала, уплотнения на корпусе, канал произвольной формы, корпус магнитный, проточный канал отсутствует, ловушка присутствует). Данный вариант реализован в патенте патенте РФ №2343533 [7]. Магнитные частицы под действием поля собираются в карманах, что позволяет жидкости беспрепятственно течь сквозь центральный канал, частицы удерживаются сеточными элементами. Когда поле отсутствует, жидкость тормозится за счёт вязкого трения с ферромагнитными частицами.

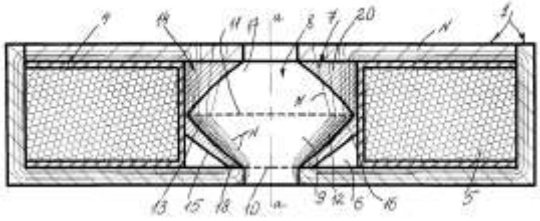


Рис. 7 – МР дроссель с карманом и ловушкой[7]

3.5 МР дроссель с мембраной (вариант №5)

Конструктивные признаки: А2-Б2-В4-Г2-Д2-Е1 (катушка снаружи канала, уплотнения на корпусе, канал произвольной формы, корпус немагнитный, проточный канал отсутствует, ловушка присутствует). Данный вариант реализован в патенте патенте РФ №2240590[8]. Магнитные частицы под действием поля деформируют упругую мембрану 1 (является ловушкой для частиц), таким образом изменяя проходное сечение канала, что регулирует расход жидкости в дросселе.

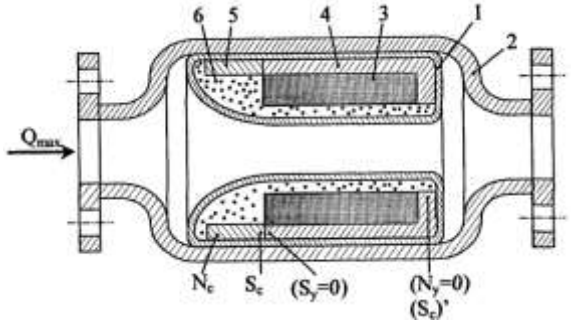


Рис. 8 – МР дроссель с мембраной[8]

3.6 Предлагаемая конструкция МР дросселя

Конструктивные признаки: А2-Б1-В1-Г2-Д2-Е2 (катушка снаружи канала, уплотнения на всех элементах, канал кольцевой формы, корпус немагнитный, проточный канал отсутствует, ловушка отсутствует). Данный вариант был рассмотрен в качестве основы для проектирования. Фрагмент сборочного чертежа дросселя представлен ниже на рис. 9. Жидкость меняет свою вязкость в рабочих зазорах (Б), образованных магнитопроводом 7, кольцевыми канавками, являющимися концентраторами магнитного поля, и сердечником 6. Радиально расположенные отверстия в опоре 5 служат для протекания жидкости через систему.

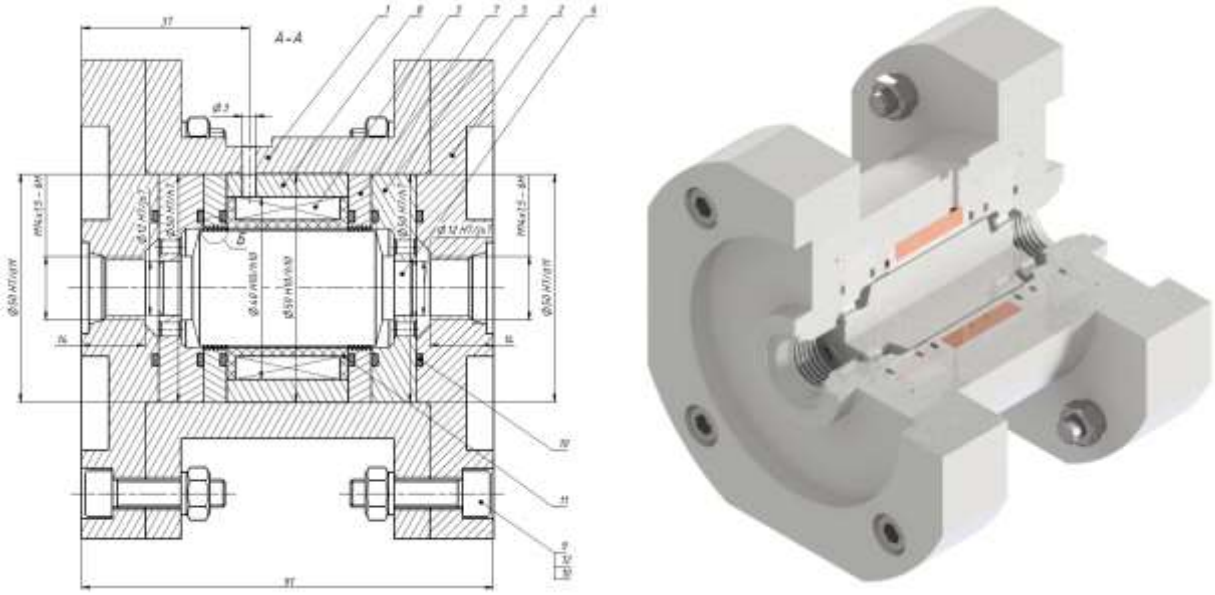


Рис. 9 – МР дроссель с зубцами

4 Расчет магнитного поля, создаваемого предлагаемым МР дросселем

В программный пакет для расчёта методом конечных элементов (далее МКЭ) была импортирована геометрия спроектированного дросселя, заданы свойства и области материалов, и с помощью магнитного интерфейса было получено распределение магнитной индукции внутри дросселя. Расчётное значение по зазору составило 0,2 Тл, в то время как конструкция, предложенная в варианте №3 и рассчитанная в том же пакете МКЭ, обеспечивает индукцию порядка 0,1 Тл, при этом присутствует взаимное влияние катушек через магнитопровод. Предложенная конструкция лишена указанного недостатка.

Параметры катушки были рассчитаны исходя из быстродействия дросселя (200 мс), т.к. с увеличением габарит катушки растёт наводимая в зазоре индукция, но вместе с тем растёт и время нарастания тока в неё. Конструкция дросселя способна выдержать перепад давления в 0,1 МПа, данный параметр можно увеличить.

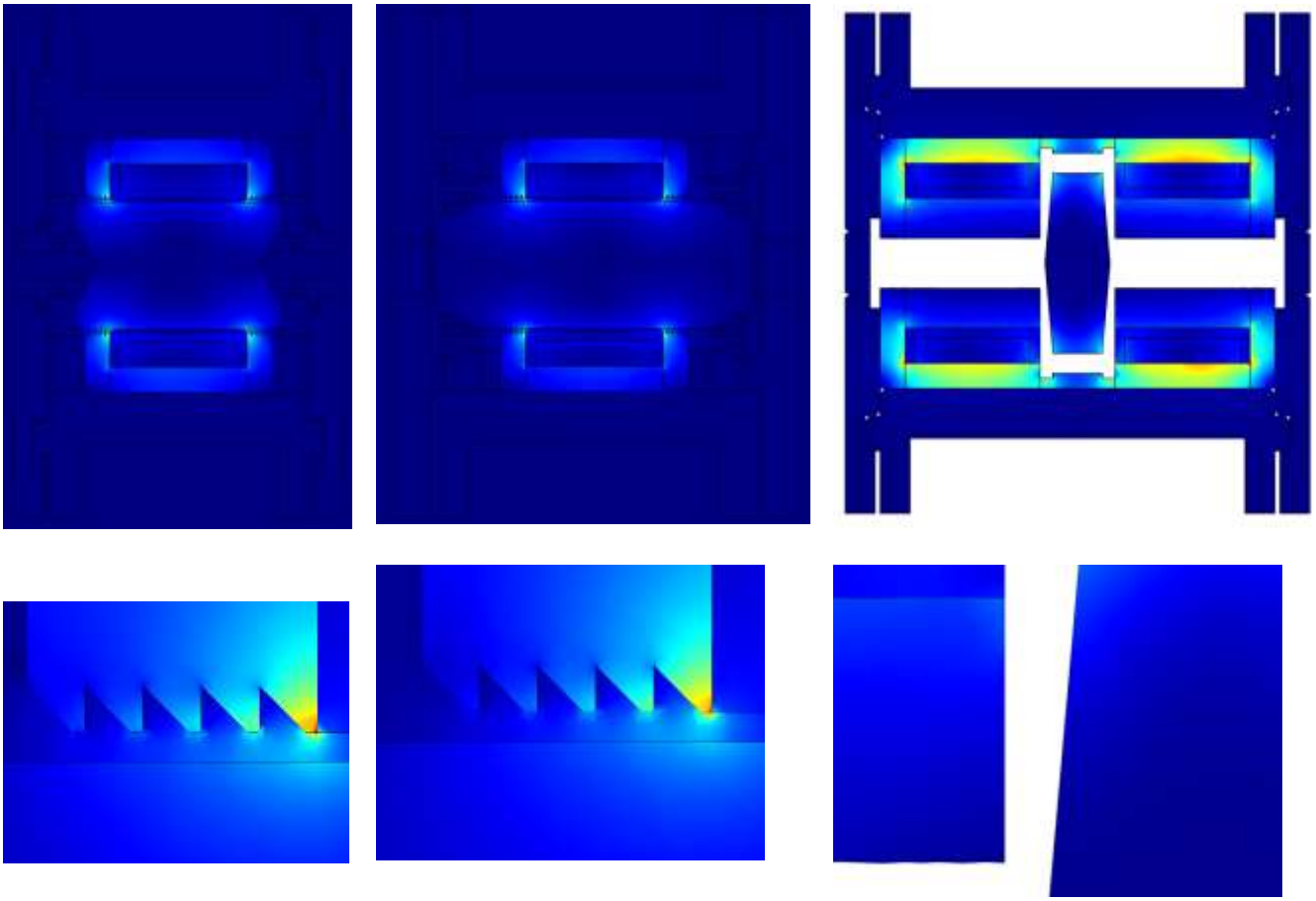


Рис. 10 – Расчёт различных конструкций МР дросселя (верхний ряд) и распределение магнитной индукции в рабочем зазоре (нижний ряд)

На рисунке ниже представлено распределение полной магнитной индукции (осевой и радиальной составляющих) на расчётной линии рабочего зазора. Как видно из графика и из рис. 10, наибольшей намагниченностью обладает ближайший к катушке зубец, и распределение индукции можно описать линейной зависимостью.

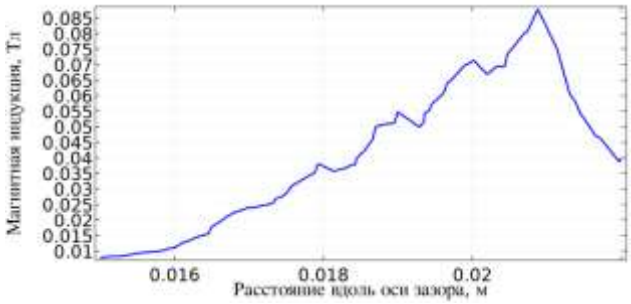


Рис. 11 – Распределение полной магнитной индукции вдоль рабочего зазора

5 Выводы

Проведенный анализ конструкций МР дросселей методом морфологического ящика позволил спроектировать универсальный МР дроссель, который показал при моделировании большую эффективность создания магнитого поля в рабочем зазоре, средняя магнитная индукция по рабочему зазору составила 0,2 Тл.

Предполагаемое быстродействие МР привода с указанным МР дросселем составит 200 мс.

Заключение

В работе рассмотрена конструкция существующего МР привода, выявлена необходимость спроектировать универсальный МР дроссель.

В рамках анализа конструкций МР дросселей проведён патентный поиск, выявлены основные особенности дросселей, на основе которого был составлен морфологический ящик, рассмотрены некоторые варианты конструкций.
На основе существующего МР дросселя был разработан универсальный дроссель для трёхкоординатного гидравлического МР привода. Разработанный дроссель отличается большей создаваемой индукцией магнитного поля в рабочем зазоре за счёт применения кольцевого зазора с канавками, удовлетворяет требованиям по магнитной индукции и быстродействию. Исследования МКЭ показали, что среднее расчётное значение индукции по длине зазора составляет 0,2 Тл.

Литература

1. *Михайлов В.П., Степанов Г.В., Базиненков А.М.* и др. Магнитореологические устройства активной виброизоляции и позиционирования для нанотехнологического оборудования // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана, серия "Приборостроение", специальный выпуск "Наноинженерия", - 2010, - С.138-148.
2. *Михайлов В.П.* Автоматизация управления процессами сверхточного позиционирования линейных модулей реологического типа : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.13.06 / В.П. Михайлов. – М., 2003.
3. Дипломный проект РиК студента каф. МТ11 Дай Ван Чунга.
4. Магнитореологический дроссель: пат. 777313 СССР. № 2716951/25-08; заявл. 25.01.1979; опубл. 07.11.1980 Бюл. № 41. 3с.
5.Магнитореологический дроссель: пат. 1024637 СССР. № 3430686/25-08; заявл. 28.04.1982; опубл. 23.06.1983 Бюл. № 23. 2с.
6. Магнитореологический дроссель: пат. 1366756 СССР. № 4012314/31-08; заявл. 20.01.1986; опубл. 15.01.1988 Бюл. № 2. 2с.
7. Способ регулирования расхода жидкой среды и магнитореологическое устройство для его осуществления: пат. 2343533РФ. № 2007113603/28; заявл. 12.04.2007; опубл. 10.01.2009 Бюл. № 1. 17с.
8. Способ регулирования расхода жидких и газообразных сред: пат. 2240590 РФ. № 2002108583/28; заявл. 04.04.2002; опубл. 20.11.2004.

УДК 62-982

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА УСТАНОВКЕ PLATITπ80

Дмитрий Алексеевич Баклыков, Сергей Александрович Дубинин

Студенты 3 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: К. М. Моисеев[(1)], С. В. Сидорова[(2)]
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»[(1)]
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»[(2)]

Установка PLATIT π80 предназначена для нанесения покрытий при помощи метода дугового испарения, который, в основном, применяется для нанесения упрочняющих и износостойких покрытий на инструментальные и быстрорежущие стали, а также твердые сплавы.
Нитрид титана – покрытие общего назначения, является одним из наиболее распространенных износостойких покрытий в мире, имеет золотисто-желтый цвет и поэтому широко применяется

в декоративных целях.ПокрытияTiN увеличивает стойкость инструмента для обработки резанием, давлением в 2–3 раза[1].
Нанокомпозитная структура nACo®на базе Tiи Alпредставляет собой нанокристаллические зерна материала покрытия, внедренные в аморфную матрицу. Нанокомпозитное покрытие обладает очень высокой твердостью.Уникальность материала заключается в том, что с увеличением твердости одновременно увеличивается и эластичность покрытия, хотя эти два параметра обычно являются взаимно исключающими. В результате покрытие одинаково хорошо работает и при высокопроизводительной обработке, и в обычных условиях [1].
Нанесение покрытий производилось на кремниевые подложки размером 20х20 мм. Перед каждым таким процессом производилась очистка камеры и образца, необходимая для получения качественного результата.
В таблице1приведены средние значения результатов измерений толщины и твердости.
Таблица 1.*Результаты*измерений

Материал	Толщина, мкм	Твердость, HV
nACo®	0,75	1584
nACo®	1,1	2234
TiN	0,125	4810
TiN	1,05	1741

На основании полученных результатов измерений сделан вывод о том, что единой зависимости между толщиной пленки и твердостью не обнаружено – она не одинакова для разных материалов, что также подтверждается работой других авторов [3]. Также сделано предположение, чтов рамках проведенного эксперимента,помимо погрешности измерения, весомый вклад внес способ определения твердости покрытий по патенту [2].

Литература

Локтев Д., Ямашкин, Е. Основные виды износостойких покрытий // Наноиндустрия Сер. Промышленные нанотехнологии. 2007. № 5. С. 24–30.
Быков Ю.А., Карпухин С.Д., Бойченко М.К., Чепцов В.О. Способ определения твердости покрытия: пат. 2222801 Российская Федерация. 2004.
Усеинов А., Кравчук К., Маслеников И. Индентирование. Измерение твердости и трещиностойкости покрытий // Наноиндустрия Сер. Контроль и измерение. 2013. № 7. С. 48–56.

ПНЕВМОГИДРОПРИВОД С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Дмитрий Сергеевич Калинин [(1)], Мария Владимировна Антонова [(2)]

Магистр 1 года [(1)], магистр 2 года [(2)],
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»

Перспективное применение электрореологических жидкостей (ЭРЖ) 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. Под действием электрического поля в ЭРЖ при сдвиговом

течении возникают касательные и нормальные напряжения. Вибро-вискозиметрические измерения [2] показали увеличение упругих сил в ЭРЖ с ростом электрического воздействия. При этом особенности и закономерности этих превращений остаются пока малоизученными [3]. Одной из операций в изготовлении приборов является разделение полупроводниковой пластины кристаллы круглой формы 1-3 мм. Существуют несколько методов резки пластин [4], но самым производительным и точным является метод струйно-абразивной обработки. Однако при данном виде обработки большое значение имеет равномерность перемещения пластины или сопел, из которых подается абразивно- воздушная смесь. Неравномерность перемещения приведет к большому различию во времени нахождения под струей абразива разных частей пластины и, соответственно к существенной неравномерности обработки. Установлено, что для обеспечения равномерности и качества обработки необходима регулировка скорости перемещения обрабатывающих сопел 0.05...0.3 м/с. Для обеспечения заданного закона перемещения предлагается использовать пневматический привод с электрореологическим (ЭР) регулятором скорости.

Привод состоит из пневмоцилиндра и гидроцилиндра с общим штоком. При работе привода ЭР-жидкость переливается из одной полости гидроцилиндра в другую через ЭР- дроссель. Дроссель представляет собой цилиндрический конденсатор и его работа основана на электрореологическом эффекте. Подавая напряжение (0-3 кВ) на электрод ЭР-дросселя, можно управлять потоком течения ЭР-жидкости через кольцевой зазор дросселя. Следствием изменения потока ЭР- жидкости является изменение скорости движения штока гидропривода. Таким образом, варьируя напряжением на электроде дросселя, можно добиться необходимой скорости движения и плавности хода рабочего штока.

Был проведен ряд экспериментов по определению расходных характеристик ЭР-дросселя и вязкости жидкости.

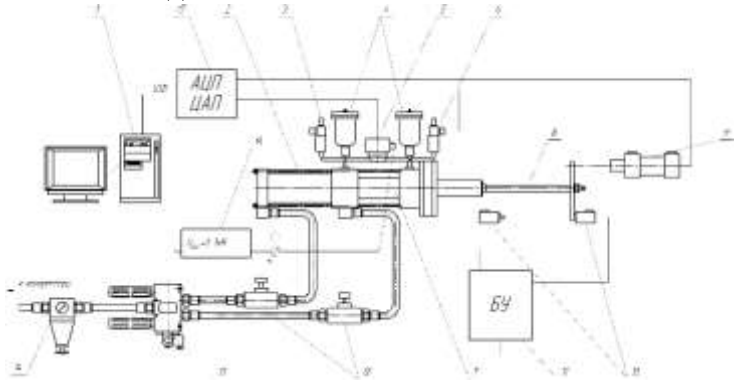


Рисунок 1 – экспериментальный стенд

Таблица 1

Напряжение, В	600 В								
V, мм/с	1,7795	3,5	6,25	10,85	13,90	17,93	23,90	28,62	33,61
Q, мм3/с	106,77	210,90	375,22	651,4	834,02	1075,94	1434,2	1717,52	2016,72
ΔP, Па*10^{-5}	0,928	1,14	1,74	2,72	3,42	4,33	5,55	6,49	7,53

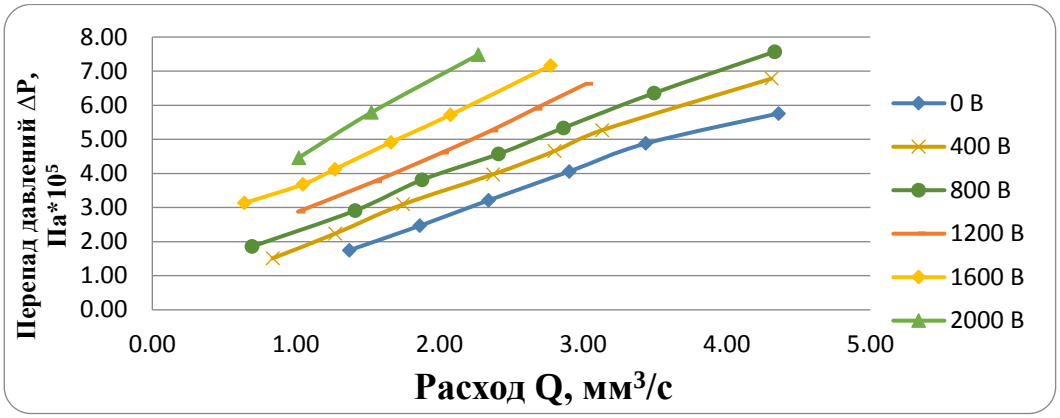


Рисунок 2 - зависимость расхода жидкости от перепада давлений в полостях гидроцилиндра и от напряжения на дросселе

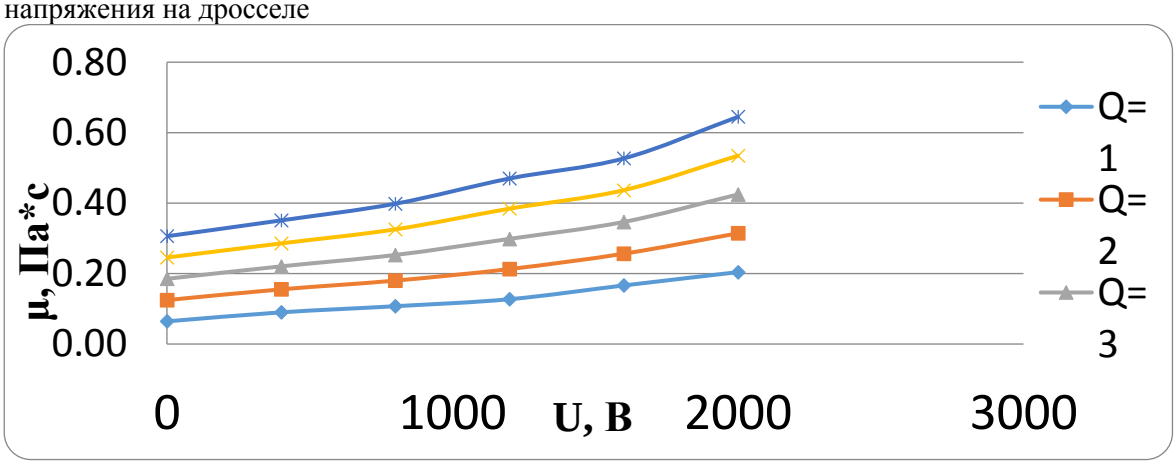


Рисунок 3 - зависимость вязкости ЭР-жидкости от напряжения на дросселе

Пользуясь полученными экспериментальными зависимостями ΔP(Q, U) можно определить необходимый перепад давлений ΔP для заданного расхода Q в рабочем диапазоне изменения управляющего напряжения U. Проведенные исследования позволяют разрабатывать теоретические основы расчета и выбора параметров управления ЭР процессами в системах перемещения технологического оборудования, например, при ее использовании в приводе механизма сканирования сопел для установки резки кремниевых пластин.

Литература

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).

Коробко Е.В. Электроструктуирование электрореологической жидкости: особенности гидромеханики и возможности использования. Мн., 1996. 189 с.

Pan X.P., McKinley G.H. // Langmuir. 1998, V.14. Pp.985-989.

И.Г. Пичугин. Технология полупроводниковых приборов / И.Г. Пичугин, Ю.Н.Таиров.- Москва: Высшая школа, 1984.-288 с.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ

Вера Леонидовна Колесник

Магистр 1года,
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»

Нанокомпозиты являются новым классом материалов, находящим широкое применение. Структура магнитного нанокомпозита на основе опаловой матрицы представляет собой *упорядоченные* сферы кремнезема с пустотами, заполненными частицами магнитного материала.

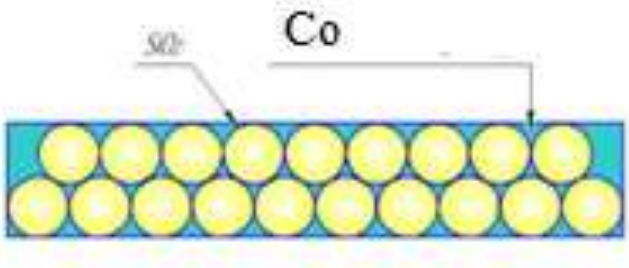


Рисунок 24 - Структура нанокомпозита

Контроль качества внедрения магнитных частиц в структуру опаловой матрицы является ключевой операцией получения образцов, позволяющей оценить уровень заполнения. Косвенно это можно сделать путем исследования магнитных характеристик образцов. Для контроля магнитных свойств была разработана вакуумно – кинематическая схема установки, позволяющая контролировать значение максимальной магнитной энергии.

Значение максимальной магнитной энергии находится из соотношения $E_{max} = K * \Delta T_{max}^{1/3}$,
где E_{max} - максимальная магнитная энергия;
ΔT_{max}- максимальное изменение температуры образца;
$K = 8{,}7 * 10^6$ – коэффициент пропорциональности

Образец магнитного материала произвольной формы помещается в вакуумную камеру, которая откачивается до вакуума, обеспечивающего адиабатичность процесса. Намагничивание (или размагничивание) образца осуществляется включением (или выключением) электромагнита. Поддержание температуры образца в области магнитного фазового перехода вещества ТС обеспечивается нагревателем (холодильником). Температура образца и ее изменение Т при адиабатическом намагничивании (размагничивании) измеряется микротермопарой, находящейся в тепловом контакте с образцом. Замеряя термопарой максимальное изменение температуры Т получаем значение максимальной магнитной энергии Е. [1]

Вакуумная система установки состоит из высоковакуумного турбомолекулярного поз. 12и механического спирального насоса поз. 11. На форвакуумной и байпасной магистралях установлены клапана поз. 10. Для контроля изменения давления в рабочей камере CV установлен широкодиапазонный датчик давления поз. 14,15.

В вакуумной камере на столике поз. 6 размещен исследуемый образец. С помощью шарико – винтовой передачи поз. 3 столик подводится к термодатчику поз. 11, данные обрабатывает анализирующее устройство поз. 5. Движение шарико – винтовой передаче передается через ввод вращения поз. 7 от шагового двигателя поз.8. Намагничивание и размагничивание образца осуществляется с помощью электромагнитов поз. 2.

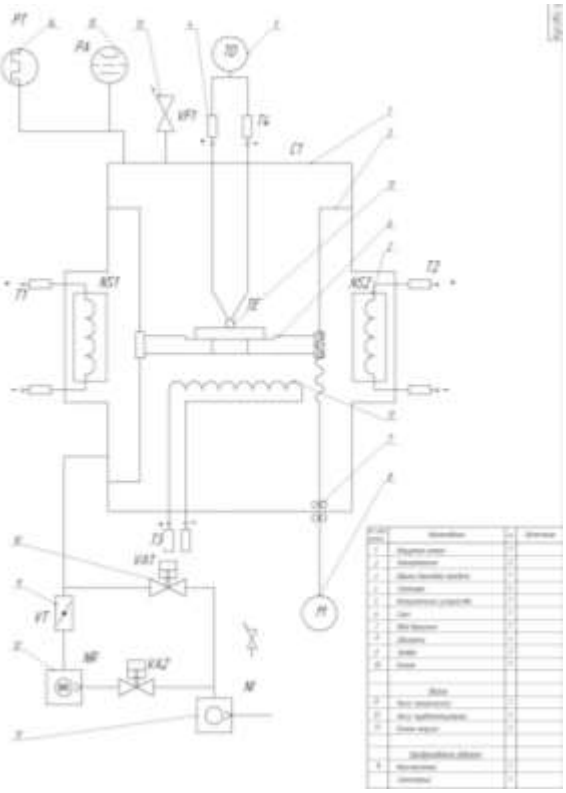


Рисунок 2 - Вакуумная схема установки

Данная установка позволяет определять степень намагниченности образцов по значению максимальной энергии. Таким образом можно оценивать качество получаемых магнитных нанокомпозитов на основе опаловых матриц.

Литература

1. Способ измерения максимальной магнитной энергии образцов : пат. 805216 СССР М. Кл.^{3}G 01 R 33/12 / Ю.С.Авраамов, В.М.Белова ; заявитель и патентообладатель Московский ордена Трудового Красного Знамени институт стали и сплавов. – 2715218/18-21; заявл. 12.01.1979; опубл. 15.02.1981, Бюл.6.

УДК 621.793.79

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ CVD АЛМАЗА ПЕРЕД ПАЙКОЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРОЙ ГИРОТРОНА

Кира Станиславовна Косарева

Студент 4 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В. Панфилов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Современные мощные гиротроны – генераторы СВЧ энергии – входят в состав установок управляемого термоядерного синтеза для возбуждения и накачки плазмы. Они способны генерировать СВЧ излучение мощностью 1-2 МВт с КПД на уровне 50% в диапазоне частот 110-170 ГГц с длительностью импульсов до тысячи секунд [1]. Производство этих приборов

возможно при использовании в качестве выводных СВЧ окон дисков из искусственного поликристаллического CVD алмаза.

Цель данной работы - разработка и оптимизация тонкоплёночной структуры для металлизации CVD алмаза перед пайкой с медными манжетами, обеспечивающей требуемую термоциклическую надёжность спая.

В данной работе начато решение частной задачи соединения алмазного диска узла вывода энергии гиротрона с металлической арматурой путём предварительной двухсторонней металлизации алмазного диска трёхслойной тонкоплёночной структурой Ti-Cu-Ni кольцевой конфигурации ($\emptyset_{\text{вн}} = 86$ мм, $\emptyset_{\text{нар}} = 96$ мм) (рис. 1).

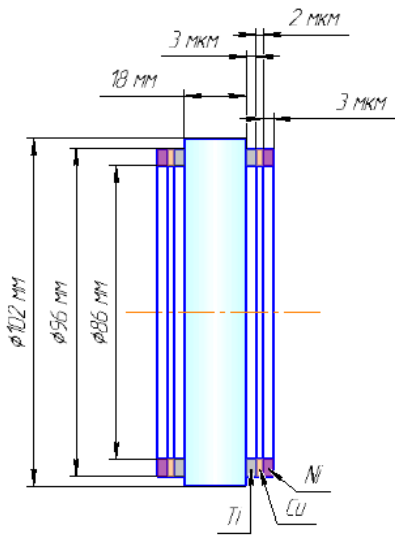


Рис. 1. Область металлизации алмазного диска

Для исключения образования оксида титана на границе слоёв Ti-Cu решено использовать установку с двумя магнетронами и источником ионов. Такое оборудование имеется в НИИТМ г. Зеленоград, а именно, установка «МВУ ТМ Магна Ш-01».

Предложена модель оптимизации толщин каждого из покрытий методом ПФЭ по критерию максимальной адгезии, так как данный параметр является одним из наиболее значимых. Также была разработана и сконструирована оснастка для проведения данного ряда экспериментов по металлизации и последующих измерений адгезионной прочности.

В качестве диапазона варьирования толщин были выбраны значения 200 нм - 1000 нм каждого слоя.

На данный момент проведены все эксперименты по металлизации керамического (22ХС) диска (по причине высокой стоимости алмазного CVD диска предварительные эксперименты по отработке технологии и оптимизации толщин решено проводить на керамическом диске, так как свойства данного материала довольно близки к свойствам алмаза), а также операция по отжигу.

В дальнейшем планируется проводить измерения адгезии и выявление функциональной зависимости адгезионной прочности от толщин каждого слоя для дальнейшей оптимизации металлизационной структуры.

Литература

Мясников В. Е. Развитие сверхмощных длинноимпульсных и непрерывных гиротронов в диапазоне 110…170 ГГц / В. Е. Мясников и др. // Радиотехника. – 2000. - №2 – с. 67.

УДК543.271; 533.5.08; 62-567.7

ИССЛЕДОВАНИЕПОГРЕШНОСТИПЕРЕМЕЩЕНИЯМАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙПЛАТФОРМЫ

Иван Владимирович Макеев

Студент 3курса
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э Баумана

Научный руководитель: А.М. Базиненков,
кандидат технических наук, доцент 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].

Высокие требования предъявляются к установкам микролитографии, прецизионной металлообработки, оптоволоконным системам, сканирующей зондовой микроскопии (атомно-силовой и туннельной), электронной микроскопии. Например, в микролитографии минимальный размер элемента достиг 16 нм и внешние вибрации могут нарушить топологию поверхности. При анализе рельефа поверхности зондовым микроскопом, можно повредить сканирующую иглу, радиус кривизны ее конца составляет около 10 нм. Одним из методов защиты от вибрационных возмущений используется применение активных и полуактивных систем виброизоляции.

Широкое распространение получили системы активной виброизоляции на основе электромеханических исполнительных механизмов, пневматических, гидравлических и на основе «смарт-материалов» — пьезоэлектрические, магнитострикционные, на сплавах с памятью формы и пр. Одним из перспективных направлений систем виброизоляции на основе «смарт-материалов» являются системы на основе магнитореологических и электрореологических жидкостей и эластомеров [2]. Такие системы используют способность этих материалов под воздействием магнитного или электрического полей изменять свои реологические свойства, вязкость, упругость и пластичность [3].

В работе объектом исследования является виброизолирующая платформа [4] на основе магнитореологических эластомерови виброизолирующей системы с квазинулевой жесткостью [5]. Принцип действия платформы заключается в способности демпферов на основе эластомеров обеспечивать пассивную, полуактивную и активную виброизоляцию объекта за счет управляемого изменения жесткости и контролируемого перемещения эластомеров под действием магнитного поля. При этом уменьшается амплитуда колебаний объекта, передающихся на него из внешней среды. Платформа с объектом установлена на четырех симметрично расположенных демпферах, управляемых катушками индуктивности, создающими магнитное поле.

Магнитореологические эластомеры, использованные в демпфирующих элементах, состоят из металлических частиц разметом до 10 мкм, распределенных в силиконовой матрице [6]. При изготовлении эластомеров добиться равномерного распределения частиц в матрице достаточно сложно, потому получаемые образцы отличаются по

магнитным и демпфирующим характеристикам. Такие различия влияют на работу виброизолирующей платформы и вносят погрешность в положение объекта.
Во время работы экспериментально был определен диапазон перемещения демпферов платформы при различных управляющих сигналах по вертикальной координате. А также была определена погрешность перемещения платформы и перекос ее в горизонтальной плоскости. По результатам обработки экспериментальных данных был подобран корректирующий сигнал для каждого демпфирующего элемента, таким образом, чтобы платформа сохраняла горизонтальное положение с заданным отклонением.

Литература

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. *Горбунов А.И., Михайлов В.П., Степанов Г.В., Борин Д.Ю., Андриянов А.А., Темнов Д.В., Семеренко Д.А.* Исследование свойств и новое применение магнитных силиконовых композитов. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 2008, № 1(70), С.90-107.
3. *Шульман З.П. Кордонский В.И.* Магнитореологический эффект. Минск: Наука и техника, 1982. – 184 с.
4. *V. P. Mikhailov, A. M. Bazinenkov.* A Vibration-Control Platform on the Basis of Magnetorheological Elastomers. Instruments and Experimental Techniques, 2016, Vol. 59, No. 1, pp. 131–135.
5. Виброзащитныесистемысквазинулевойжесткостью / П.М. Алабужев, А.А. Гритчин, Л.И. Кимидр.; Подред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
6. *Степанов Г.В., Крамаренко Е.Ю., Перов Н.С., Семисалова А.С., Борин Д.Ю., Богданов В.В., Семеренко Д.А., Бахтияров А.В., Свиридова Л.Д., Стороженко П.А.*Магнитоактивныйполимерсмагнитотвёрдымнаполнителем // ВестникПермскогонациональногоисследовательскогополитехническогоуниверситета. Механика. 2013. № 4. С. 106-137.

УДК 519.876.5

ФОРМИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ МНОГООСЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ В СРЕДЕ "CATIA"

Андрей Евгеньевич Меринов

Студент 6 курса, магистр 2 года,
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»
Московский государственный университет «МАМИ»

Научный руководитель: М.М. Стржемечный,
кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»

В современном производстве в достаточно значимой степени опираются на станки с ЧПУ. Вместе с тем их эффективная эксплуатация требует эффективного управления.
Уменьшение серийности, а также увеличение номенклатуры выпуска продукции, ведет к необходимости быстрого изменения управляющих программ в соответствии с поступившими

изменениями. Разработка управляющей программы с «нуля» это далеко не самый эффективный метод. Необходимо по максимуму использовать предыдущие наработки.
От CAM системы требуется наличие способов проверки программ на столкновения и зарезы. Это позволяет существенно упростить процесс и сократить сроки внедрения УП на станке, так как станок должен использоваться для выпуска продукции в максимальной степени. Время его переналадки и тем более простои в результате поломки, дорого обходятся предприятию. Поэтому необходима проверка УП вне станка с учетом всей технологической системы на основе G-/M- кодов.
Одним из популярных решений в области CAM является система CATIA-комплексное CAD/CAM/CAE-решение для конструкторско-технологическогой подготовки производства. Система успешно применяется на предприятиях авиакосмической отрасли и автомобилестроения, в судостроение и энергетике, в производстве медицинского оборудования, в сфере станкостроения и машиностроения.
Формирование УП в среде CATIA производится в несколько этапов на основе электронной модели операционной заготовки. Которая содержит не только геометрию и операционные размеры, но также в электронной модели операционной заготовки указываются режимы резания, режущий инструмент для каждого перехода, схемы базирования и установки.
Анализ геометрии. Этот этап необходим, если модель создавалась не технологом, а получена она от конструктора или иного заказчика. На этой ступени анализируются размеры детали, габаритные размеры элементов (ширина пазов, диаметры отверстий и др.).
Иногда необходима подготовка электронной модели операционной заготовки к обработке, на этом этапе можно удалить элементы, которые будут изготавливаться на других операциях, добавить припуски, уклоны, изменить элементы модели с учетом полей допусков и т.п. По факту это CAD операция для CAM задач. Правильный подход-это вносить изменения не в саму конструкторскую модель, а ее копию.
После чего, идет этап проектирования или редактирования операций обработки. После чего, производят генерирование траектории движения инструмента, причем оно может осуществляться сразу для нескольких операций.
Проверка траектории требуется для того, чтобы обнаружить возможные проблемы, например столкновения инструмента с оснасткой или подрезы детали. В CATIA CAM имеется несколько модулей проверки траектории движения, к ним относится и симуляция работы станка, осуществляемая в кодах УП.

УДК 539.231

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ УВН-1М

Михаил Александрович Пронин

Студент 4курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.В. Сидорова,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

В настоящее время существует множество установок вакуумного напыления тонкопленочных покрытий. Установки различаются по технологическому назначению, габаритам, предельному давлению и по ряду других параметров. Однако в условиях растущего интереса к наноинженерии в нашей стране и мире необходимо готовить квалифицированные кадры. Для

этого важно как можно больше времени уделять практической работе на технологическом оборудовании. Для этих целей на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н. Э. Баумана была сконструирована, а затем модернизирована установка вакуумного нанесения типа УВН-1М [1], которая предназначенадля исследовательских работ в областитехнологии нанесения тонких пленок ввакууме, отвечающая таким требованиям, как: малогабаритность, модульность, наглядность процесса нанесения, простота обслуживания, малое время выхода на рабочий режим.

Первоначально камера установки УВН-1М (модернизированная) представляла собой цилиндр, сделанный из кварцевого тугоплавкого стекла. Данный материал обеспечивал наглядность проводимых процессов, что важно при проведении лабораторных работ. Стеклянные камеры чаще всего делают колпакового типа. Однако недостатком данного варианта является возможность использования лишь нижнего фланца камеры, что не предусматривает легкой замены одного технологического модуля на другой.

В качестве основной камеры был выбран вариант Т-образной формы, что предоставляет широкий доступ к фланцам камеры. Рабочая камера присоединяется к металлической промежуточной камере при помощи байонетного соединения. Использование в данной установке байонетных соединений позволяет максимально уменьшить времязамены технологических источников.

В процессе эксплуатации установки с камерой из кварцевого стекла возникла необходимость в создании новой камеры, которая будет отвечать необходимым требованиям.

Таким образом целью данной работы является анализ вариантов конструкции технологической камеры для установки УВН-1М.

Первым вариантом конструкции является стеклянная Т-образная камера (рис. 1). Данная камера удобна для наглядной демонстрации вакуумных методовнапыления во всем объеме и дляреализации удаленного доступа к лабораторномустенду. Внутренний диаметр камеры составляет 83 мм, а высота 250 мм.Однако к недостаткам данной камеры относится большая вероятность образования сколов и трещин, относительно большой поток газовыделения из стекла, низкая точность изготовления, высокая шероховатость поверхности.

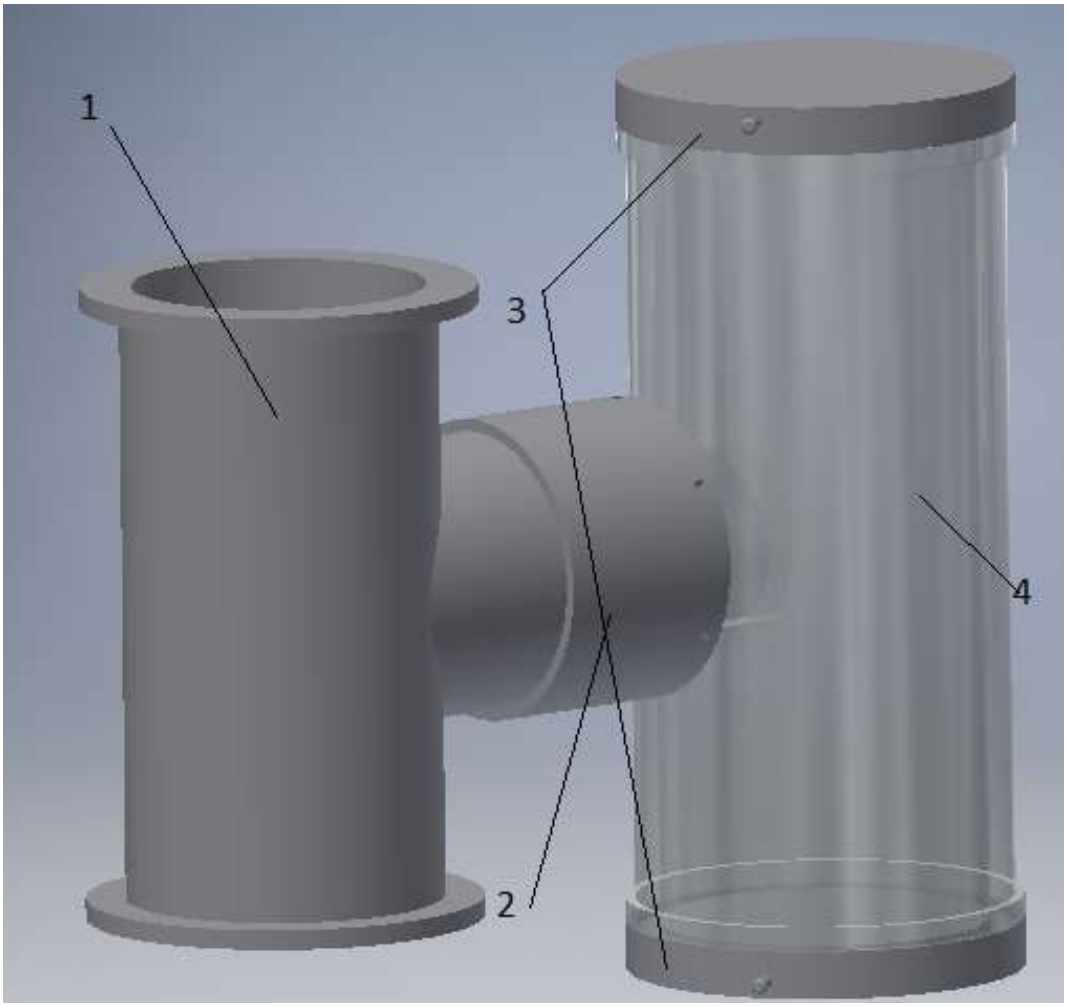


Рис. 1. 3D-модель Т-образной камеры из кварцевого стекла:
1 – промежуточная камера; 2 – переходник; 3 – фланец; 4 – камера

Следующим вариантом конструкции является металлическая Т-образная камера, аналогичная стеклянной. Для изготовления камеры возможно использование таких материалов, как: сталь 12Х18Н10Т, сплав Д16, алюминиево-магниевые сплавы АМг6, АМг5. Алюминиевые сплавы обладают малым потоком газовыделения, но относятся к плохо свариваемым металлам и чувствительны к деформациям, что не желательно для работы с вакуумом. В свою очередь, нержавеющая сталь хорошо обрабатываема и свариваема, обладает малым потоком газовыделения, возможностью создания высокой шероховатости поверхности. Однако из-за непрозрачности металла сужается обзорность наблюдения процессов, проводимых внутри камеры. Для этого в камере предусмотрено смотровое окно со сменными стеклами, крепящееся к фланцу при помощи хомута KF50 (рис. 2).

Технологическую камеру можно изготовить не только из металла и стекла по индивидуальным чертежам, но также собрать из стандартных элементов вакуумной арматуры из нержавеющей стали. Камера, представленная на рис. 3, сделана из креста-переходникаISO160X100 [2]. Крепление фланцев к камере происходит при помощи струбцин. Наблюдение за процессом производится через смотровое окно, установленное на фланец с D_y =100 мм. Недостатком данной конструкции является то, что возникает необходимость модернизации технологических фланцев под существующие технологические модули; силы, приходящиеся на переходное соединение, будут растягивать соединение и возможно натекание в камеру. Преимуществом данной камеры является большой внутренний объем камеры, что позволит проводить эксперименты с габаритными образцами; дополнительный фланец позволит расширить функционал установки.

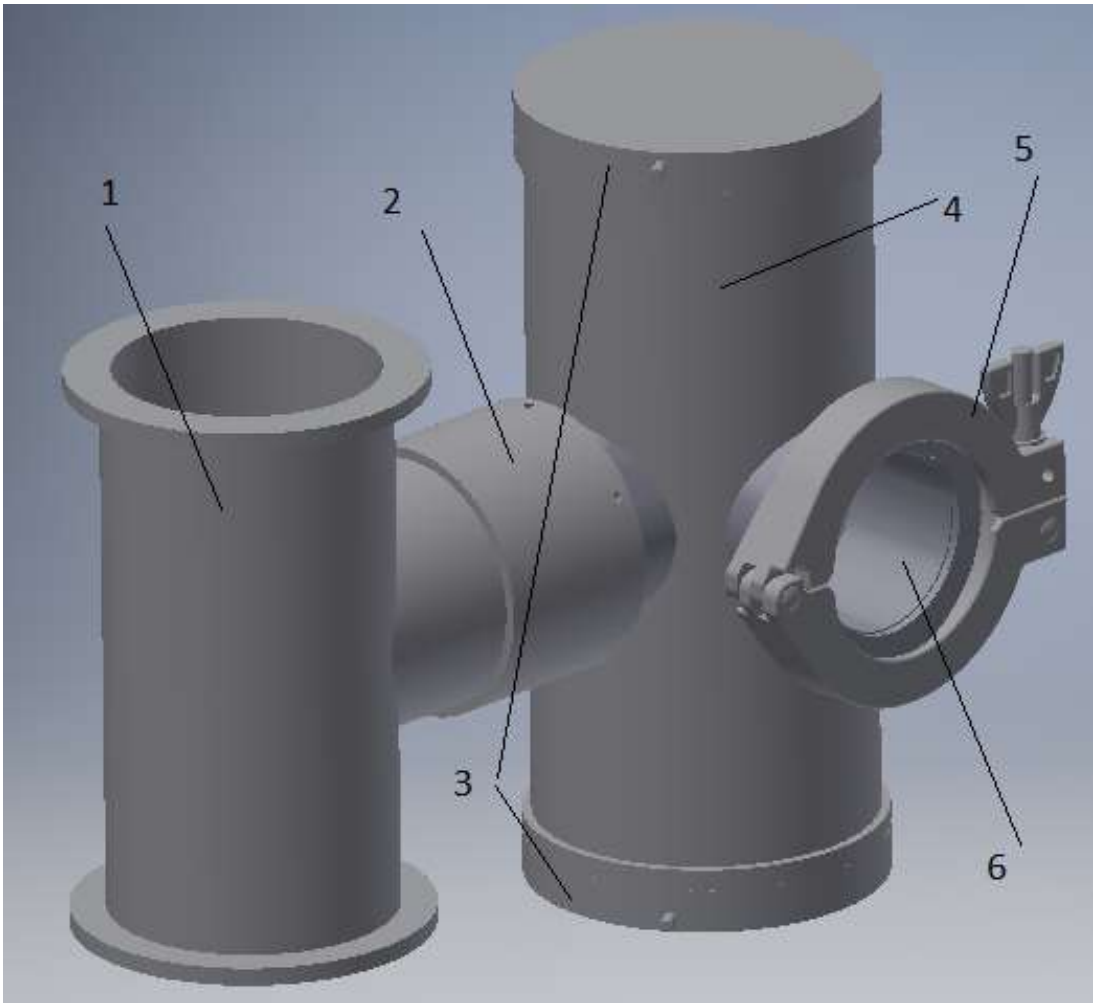


Рис. 2. 3D-модель Т-образной рабочей камеры из нержавеющей стали:
1 – промежуточная камера; 2 – переходник; 3 – технологические фланцы; 4 – камера;
5 – хомут; 6 – смотровое окно

Для наглядности всех рассмотренных вариантов исполнений камер для установки УВН-1М, в таблице приведены преимущества и недостатки.

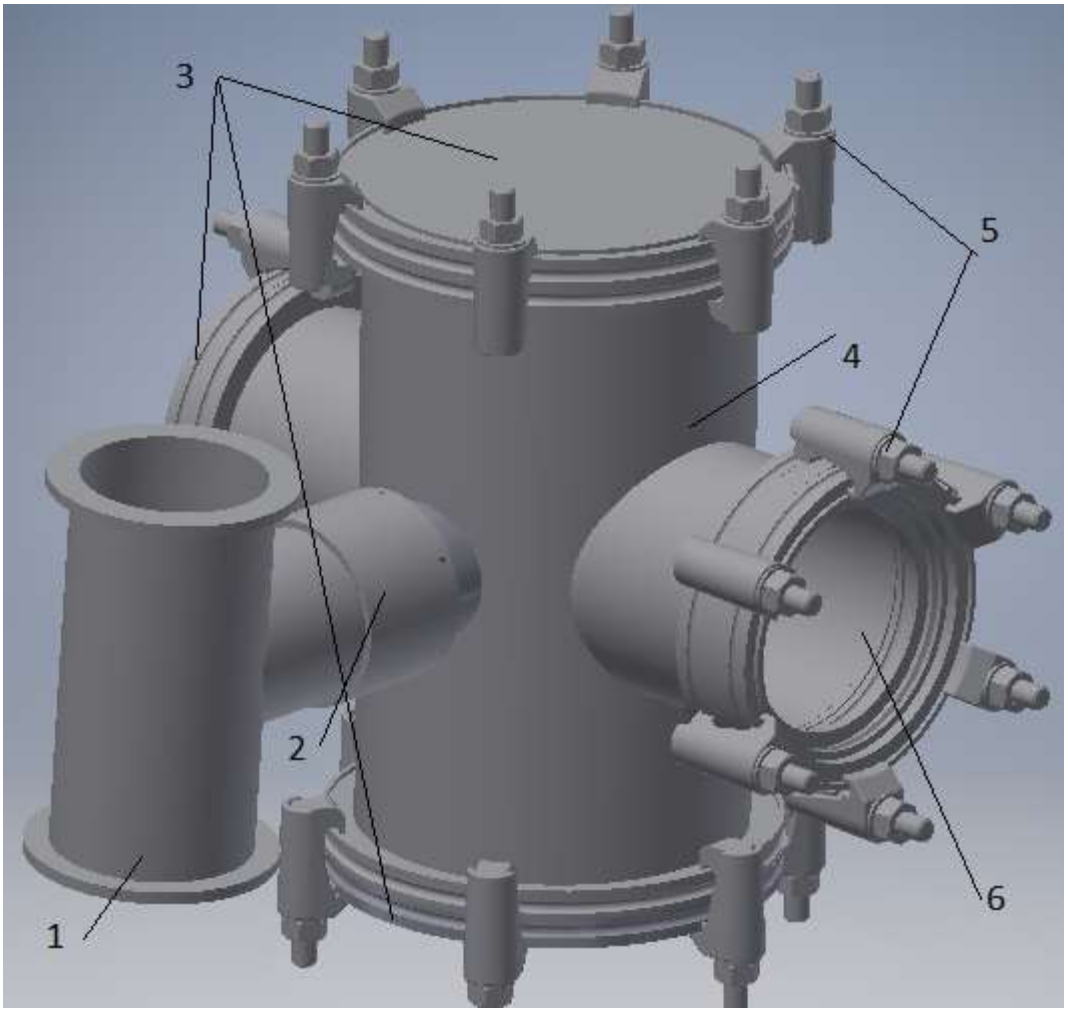


Рис. 3. 3D-модель камеры в форме «крест»:
1 – промежуточная камера; 2 – байонетный переходник; 3 – технологические фланцы;
4 – «крест»-переходник; 5 – струбцины; 6 – смотровое окно

Таблица 1. Анализ вариантов исполнения рабочих камер для УВН-1М

Камера	Стеклянная	Металлическая	«Крест»
Мех.обрабатываемость	-	+	+
Свариваемость	-	+	+
Газовыделение	среднее	малое	малое
Наглядность проводимых процессов	++	+	+
Шероховатость	низкая	высокая	высокая
Быстрота смены фланцев	+	+	-
Стоимость	средняя	низкая	высокая

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что вариант камеры из нержавеющей стали Т-образной формы является более предпочтительным, так как стоимость такой камеры низкая, при этом нет необходимости переделывать технологические модули.Поэтому для модернизации и дальнейшейреализации выбран вариант изготовления рабочей камеры из стали 12Х18Н10Т Т-образной формы для установки УВН-1М, подготовлена конструкторская документация.

Литература
Сидорова, С.В. Расчет технологических режимов и выбор параметров оборудования для формирования островковых тонких пленок в вакууме [Текст]: дис. на соиск. ст. канд. техн. наук: 05.27.06: защищена 27.10.2016/Сидорова Светлана Владимировна. − Москва, 2016. − 191 с.
VACOMКаталог продукции [Электронный ресурс]. –Режим доступа:https://www.vacom.de/ru/tehinfo/vacom-katalog-produkcii - Заглавие с экрана. – (Дата обращения 16.02.2017)

УДК 539.23

НАНЕСЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ MO/AL/MO/AUМЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ СОЗДАИЯ ОМИЧЕСКОГО КОНТАКТА

Максим Алексеевич Рубцов, Людмила Андреевна Рубцова

Студенты 2 курса магистратуры,
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 современном мире полупроводниковые приборы стали очень популярным, а средств для их производства становится всё больше. Одним из основных элементов всей электронной промышленности наших дней является транзистор. Уже можно утверждать, что транзистор можно собрать из отдельных атомов рекордно малых размеров, однако это экономически не выгодно и планарная технология остаётся на первом плане в электронной промышленности.
В рамках технологии производства транзисторов на АО «НПП «Пульсар», необходимо было найти оптимальный способ нанесения системы металлизации Mo/Al/Mo/Audля омических контактов за один процесс, чтобы поддерживать максимальную чистоту между слоями. В настоящее время процессы металлизации оказывают наибольшее влияние на итоговый процент выхода годных пластин.

Рис. 1. Диаграмма количества брака(1)

В результате были рассмотрены молибден, алюминий и золото, учтены их особенности в рамках напылительных процессов. Были оценены возможности нескольких методов металлизации и выбран наиболее подходящий для данной задачи – электронно-лучевой метод нанесения тонких плёнок.
Приведены результаты практических исследований нанесения тонких плёнок вышеуказанных материалов на установке электронно-лучевого нанесения тонких плёнок TemescalFC2000. Результаты были проверены встроенным в установку кварцевым датчиком и на микроинтерферометре МИИ-4М.
По результатам эксперимента можно утверждать, что электронно-лучевая установка TemescalFC2000 или аналогичная способна справиться с поставленной задачей с минимальными погрешностями и оптимальной чистотой процесса.

Литература

Рубцов М.А., НИР «Методы контроля многослойной тонкоплёночной металлизации», 2016

УДК 621.3.049.75:62-777.6

СЕТКОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Ольга Николаевна Смирнова

Студент 4 курса
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Шелкография является древнейшим методом нанесения изображения. С течением времени она получила широкое распространение и видоизменилась. Окончательный вид, знакомый нам сегодня, шелкография получила в 1907 году, когда Симон Манчестер запатентовал процесс трафаретной печати под названием англ. *Silk screen printing* - «печать шелковым ситом». Суть патента состояла в обеспечении качества нанесения краски с помощью резиновых валиков.
Универсальность технологии шелкографии позволяет использовать ее в самых различных областях применения: полиграфии, дизайне, искусстве, электронной промышленности и т.д..
В технологии печатных плат шелкография получила название сеткография.
Сеткография представляет собой формирование полимерных покрытий путем продавливания материала ракелем через сетчатый трафарет и применима для производства дешевых печатных плат, не требующих высокой степени разрешения.
Сеткографический метод заключается в следующем: заготовка платы удерживается на столе с помощью вакуумного прижима. С помощью ракеля сетка, отделенная от основания небольшим зазором, приводится в контакт с поверхностью платы и материал, нанесенный на сетку, тонким слоем переносится на поверхность платы.
Самое элементарное оборудование, необходимое для трафаретной печати это сетчатый трафарет, а также ракель – эластичный резиновый или полиуретановый нож, которым распределяют полимер по поверхности трафарета-шаблона и продавливают ее через открытые участки этого шаблона. Из расходных материалов необходимы полимеры, материал для изготовления шаблона и материал для трафаретной сетки.
Сетчатый трафарет представляет собой механическую раму из алюминиевого сплава, на которую натянута тканая сетка.

Для трафаретной печати в электронной промышленной используются специально разработанные полиэстерные сетки холщового плетения. Каждая сетка обладает номером, размером ячейки, диаметром нити, живым сечением и толщиной сетки.
Основными производителями сеток для электронной промышленности являются Verseidag-Techfab GmbH (Германия), Sefar (Швейцария) и Saatiprint (Италия). Сетки специального назначения в отличии от универсальных выпускаются ограниченным ассортиментов номеров.
Помимо типа сетки на качество печати влияет технологический зазор между подложкой и сеткой, варьируемый с помощью натяжения сетки. Уменьшение технологического зазора снижает графические искажения изображения при печатании [9]. Максимально допустимое натяжение сетки прописывается производителем.
Так же важен выбор размера рамы, поскольку она обеспечивает стабильность печатной формы. Для обеспечения хорошего качества воспроизведения рисунка размер рамы должен быть по всем сторонам на 150 мм больше размера платы. [10].
В технологии печатных плат сеткографическим методом наносят жидкие паяльные маски и защитный рельеф ПП, также заполняют отверстия и изготавливают толстопленочные резисторы для ГИС.
Различные способы применения не только накладывают особые ограничения на сеткографический метод, но и изменяют класс точности ПП. Обзор различных применений показал, что с помощью этого метода можно нанести жидкую паяльную маску и маркировку на плату любого класса точности. Так же сеткография позволяет заполнять отверстия и наносить локальные защитные покрытия на более дешевые и более низкого класса точности платы (до 3 класса точности).

Литература

О шелкографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://foraprint.ru/# (дата обращения: 14.03.2017);
История технологии печати шелкографией. Режим доступа: http://www.print4u.ru/shelkografiya/111-istoriya-shelkografii/ (дата обращения: 14.03.2017);
Сетки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.agalsea.ru/old/articles/articleif.html (дата обращения: 14.03.2017);
Азбука шелкографии: параметры трафаретных сеток [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atd.ru/base/articles/detail/16414/ (дата обращения: 14.03.2017);
Каталог трафаретных сеток Verseidag-Techfab GmbH. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://p-plata.ru/category/setka-trafaretnaja/(дата обращения: 14.03.2017);
Каталог трафаретных сеток Sefar PME [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aras.com.tr/aras-serigrafi-serigrafi-bilgileri/serigrafi-ipekleri/SEFAR-PME.pdf(дата обращения: 14.03.2017);
Ситовые ткани [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hi-edu.ru/e-books/xbook357/01/part-004.htm (дата обращения: 14.03.2017);
Маркировка деталей и узлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pereosnastka.ru/articles/markirovka-detalei-i-uzlov (дата обращения: 14.03.2017);
Азбука шелкографии: натяжение сеток на рамы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atd.ru/base/articles/detail/16439/?lang=ru (дата обращения: 14.03.2017);
Технологии в производстве электроники. Часть II. Справочник по производству печатных плат / Под редакцией П. Семенова. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 568 с.
Файзулаев Б.Н. Справочник по печатным схемам, 1972, С. 695 (дата обращения: 14.03.2017);
Смертина Т. Технология нанесения и обработки жидких паяльных масок // Технологии в электронной промышленности. Электрон. журн. 2005. № 6. Режим доступа: http://www.tech-e.ru/pdf/2005_06_41.pdf (дата обращения: 14.03.2017);
Крылов В.П. Технологии и подготовка производства печатных плат. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. 64 с. (дата обращения: 14.03.2017);

УДК 53.084.823

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Дмитрий Константинович Товмаченко, Анна Эрнестовна Янчелик

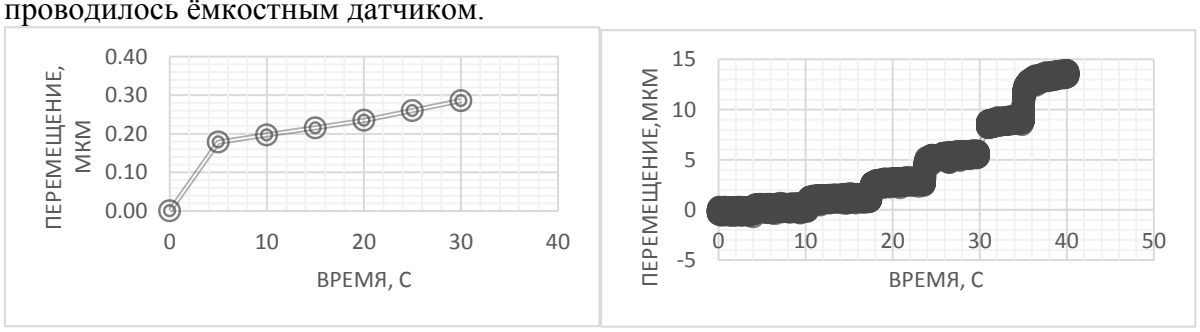
Магистры 2 года,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Михайлов Валерий Павлович
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Платформа активной виброизоляции представляет собой устройство, состоящее из четырёх активных демпферов на основе магнитореологических эластомеров, а также из четырех дополнительных упругих систем с отрицательной жёсткостью.
Магнитореологический эластомер представляет собой полимерную матрицу из силиконового каучука с диспергированными в ней магнитными частицами из карбонильного железа. Под действием внешнего магнитного поля, создаваемого катушкой демпфера, эластомер способен изменять свою жёсткость, тем самым изменяя вибропередающие свойства, а также прецизионно деформироваться в направлении воздушного зазора.

Рис.1. Внешний вид платформы

В ходе работы требовалось установить погрешность позиционирования активного демпфера в заданной точке в замкнутом режиме управления. Проводились эксперименты по перемещению объекта в пошаговом (импульсном) режиме с шагом изменения управляющего сигнала 1 мВ в диапазоне от 0 до 6 мВ (рис. 2а) и 25 мВ в диапазоне от 0 до 150 мВ (рис. 2б). Снятие показаний проводилось ёмкостным датчиком.



а) *б)*

Рис. 2. Перемещение активного демпфера с шагом изменения управляющего сигнала: а) 1 мВ; б) 25 мВ

По результатам предварительной обработки погрешность позиционирования в первом случае составила 0,02±0,013 мкм, во втором случае 0,4±0,043 мкм, что говорит о высокой точности перемещения применяемой платформы.

Существенную погрешность в точность позиционирования вносят механические и электромагнитные шумы, которые создают помехи при измерении положения объекта датчиком, в результате чего точность позиционирования уменьшается. Электромагнитные шумы подавляются заземлением металлических конструкций установки и экранированием оборудования от внешних воздействий. Механические шумы подавляются за счёт жёсткости конструкции и вязкоупругих свойств эластомера. Самой опасной ситуацией является резонанс механических шумов с частями конструкции установки.

Для одного из демпферов платформы была измерена резонансная частота, которая составила 50 Гц. Подав на демпфер колебания данной частоты с амплитудой 280 мкм, можно наглядно увидеть резонанс, который приводит к резкому уменьшению точности позиционирования. Верхняя кривая показывает амплитуду выходных вибраций, нижняя – входных.

Максимальный коэффициент передачи амплитуды вибромеремещений при этом составил 3,2, средний коэффициент передачи 1,1.

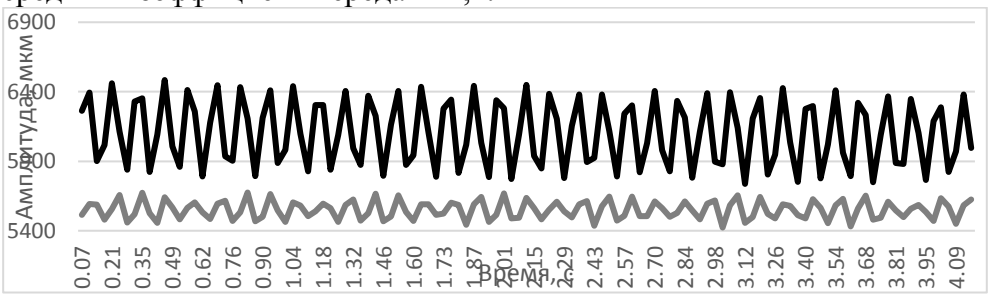


Рис.3. Явление резонанса при отсутствии электромагнитного поля

Для смещения резонанса требуется подачей тока на элетромагнитную катушку управляющего тока изменить жёсткость эластомера, тем самым передвинув точку резонанса. При подаче заранее измеренного тока 0,36 А характер выходных колебаний резко изменяется, явление резонанса исчезает, средний коэффициент передачи становится 0,8, максимальный 0,84, что значительно увеличивает точность позиционирования.

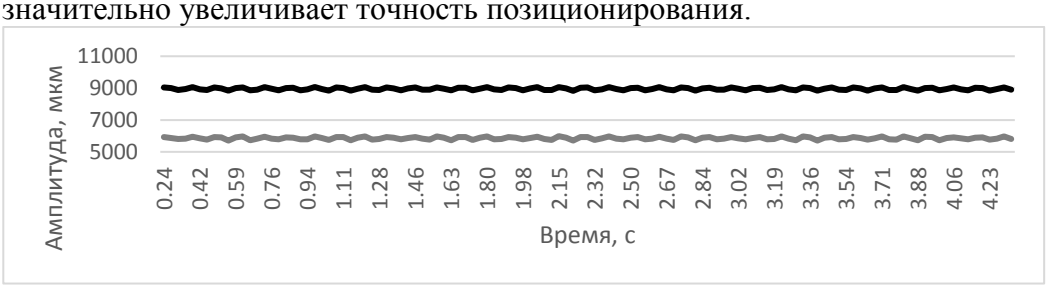


Рис.4. Характеристика коэффициента передачи при воздействии магнитного поля на эластомер

Литература

Быков В.А. Инструменты нанотехнологий сегодня и завтра. Наноиндустрия, 2010, Спецвыпуск, С.10 - 14.

В. П. Михайлов, А. М. Базиненков Виброизолирующая управляемая платформа на основе магнитореологических эластомеров. Приборы и техника эксперимента, 2016, № 1, С. 1–6.

УДК 621.3.049.75

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Алексей Андреевич Фадеев

Магистр 1 года
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель А.Т. Каменихин,
доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

При проектировании печатных плат зачастую встает вопрос организации теплоотвода. При отсутствии особых требований к массе и габаритам вопрос решается применением радиатора, как правило, с принудительным охлаждением. В условиях низкого давления (летательные аппараты), где охлаждение воздухом отсутствует и высоки требования по массе и размерам, или в электронных устройствах, где габариты ограничены (светодиоды, блоки питания) данное решение неприемлемо. Основное решение проблемы в данном случае является применение плат на металлическом основании.

Тепловой расчет важен для повышения надёжности работы монтируемых компонентов, представляющим собой полупроводниковые приборы, чувствительные к перегреву. Для быстрой оценки тепловых параметров чаще всего используется резисторная модель теплопередачи[1].

Тепловое сопротивление по подобию с законом Ома представляется в виде параллельной комбинации всех тепловых сопротивлений, через которые отводится тепло в печатной плате (рис. 1).

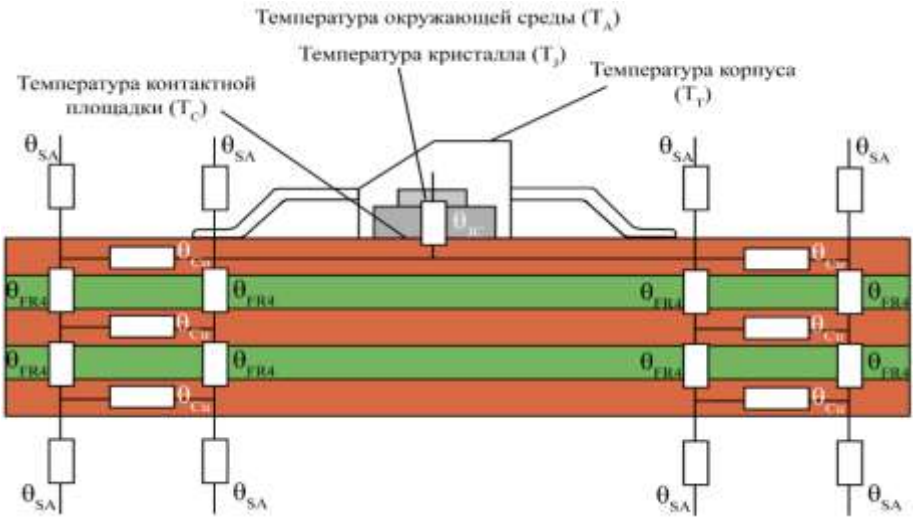


Рис. 1. Модель тепловых сопротивлений многослойной оценочной платы:
Θ_{Cu} – тепловое сопротивление медных дорожек и полигонов платы;
Θ_{JS} – тепловое сопротивление с кристалла в интегральную микросхему;
Θ_{FR4} – тепловое сопротивление материала платы;
Θ_{SA} – тепловое сопротивление с поверхности печатной платы в окружающую среду.
Тепловое сопротивление склеивающего диэлектрика не учтено.

Для односторонней платы на металлическом основании модель будет иметь следующий вид (рис. 2).

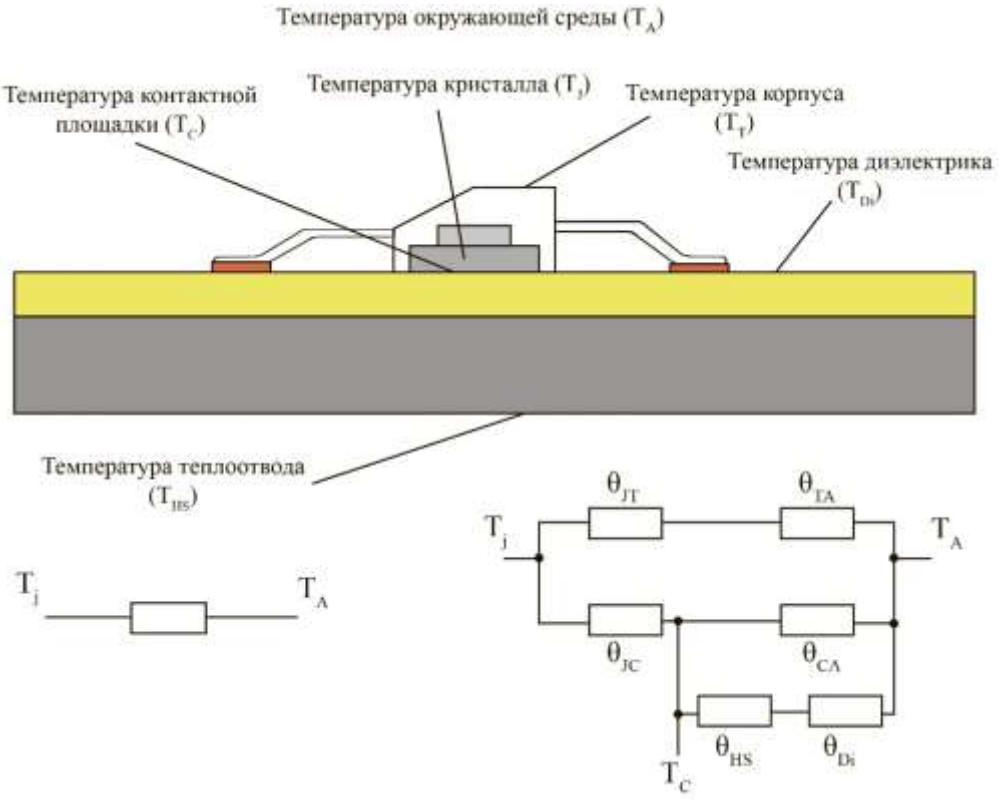


Рис. 2. Модель теплового сопротивления платы на металлическом основании

Как видно из схемы (рис. 2), передача тепла от мощного компонента проходит по двум путям: через корпус (Θ_{JT}), затем к окружающей среде (Θ_{TA}). Второй путь проходит через соединение кристалла с контактной площадкой (Θ_{CA}), диэлектрик (Θ_{Di}), а затем через теплоотвод (Θ_{HS}). Увеличение токопроводящих слоев приводит к возрастанию теплового сопротивления.

В общем случае, уравнение теплового сопротивления для печатной платы представляет собой тепловой напор, необходимый для передачи теплового потока через слой вещества (1):

$$\Theta_{PCB} = (T_{схемы} - T_{среды}) / P, \quad (1)$$

где:

Θ_{PCB} – тепловое сопротивление печатной платы, °C;

$T_{схемы}$ – температура интегральной схемы, °C;

$T_{среды}$ – температура окружающей среды, °C;

P – тепловой поток через участок цепи, Вт.

Для эффективного отвода тепла основа платы должна обладать низким тепловым сопротивлением, определяемое как (2):

$$\Theta_{PCB} = d / (\lambda \cdot S), \quad (2)$$

где:

λ – удельная теплопроводность материала, Вт/(м·°C);

d – его толщина (длина теплопроводящего участка), мм;

S – площадь сечения теплопроводящего участка, м^2.

Характерные величины тепловых сопротивлений одностороннейпечатной платы на металлическом основании компании Bergquist [2] с габаритами 350×450 приведены в таблице 1, с учетом формулы (2).

Табл. 1 – Величины тепловых сопротивлений платы на металлическом основании

Название	Описание	Параметры	Величина, °C/ Вт
Θ_{Cu}	Тепловое сопротивление медного	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина слоя меди (s) = $50 \cdot 10^{-6}$ м,	$7{,}94 \cdot 10^{-7}$

	слоя	теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 400 Вт / (м · °С)	
Θ_{Di}	Тепловое сопротивление слоя диэлектрика BergquistHT	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина диэлектрика (s) = $0{,}1\cdot10^{-3}$ м, теплопроводность FR4 (λ_{Di}) = 2,2 Вт / (м · °С)	$2{,}89\cdot10^{-4}$
Θ_{HSAl}	Тепловое сопротивление теплоотвода из алюминия 5052	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина алюминия (s) = $1{,}5\cdot10^{-3}$ м, теплопроводность алюминия (λ_{Al}) = 138 Вт / (м · °С)	$6{,}90\cdot10^{-5}$
Θ_{HSCu}	Тепловое сопротивление теплоотвода из меди М1	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина меди (s) = $1{,}5\cdot10^{-3}$ м, теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 387 Вт / (м · °С)	$2{,}46\cdot10^{-5}$

Как видно из таблицы 1,токопроводящий слой и металлический слой имеют сравнительно малое тепловое сопротивление, но, несмотря на это, их тепловое сопротивление также пропорционально возрастает при увеличении толщины. Основной вклад в тепловое сопротивление вносит диэлектрический слой (для материала BergquistHT $\Theta_{Di} = 2{,}89\cdot10^{-4}$°С / Вт). График зависимости тепловых сопротивлений от толщины представлена ниже (рис. 3).

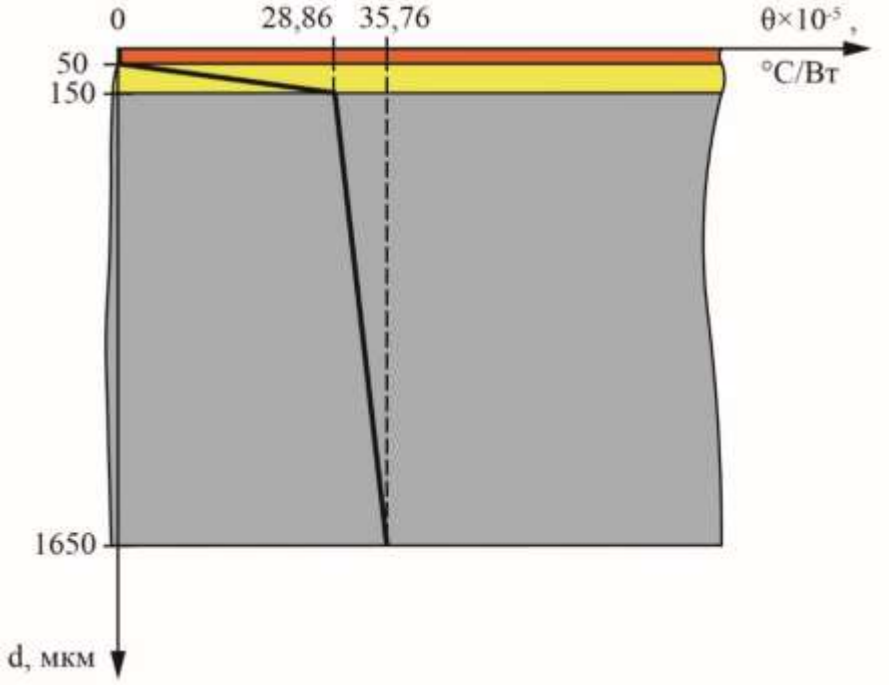


Рис. 3. График зависимости теплового сопротивления от толщины

Итоговое тепловое сопротивлениеплаты, являющееся суммой всех тепловых сопротивлений слоёв, составляет$\Theta_{PCB} = 35{,}76\cdot10^{-5}$°С / Вт, то есть: на один ватт тепла приходится потеря температуры величиной $35{,}76\cdot10^{-5}$°С.

Перестроив условия, можно определить температуру на противолежащей поверхности ($T_{схемы}$), приняв тепловой поток P= 100 Вт и температуру окружающей среды (на теплоотводе) $T_{среды}$ = 40 °С. По формуле (1):

$T_{схемы} = \Theta_{PCB} \cdot P + T_{среды} = 35{,}76\cdot10^{-5}$ °С / Вт · 5 + 40 ≈ 40,04 °С

Важно отметить, что тепловой поток не равен численно мощности компонента, но показывает, какой тепловой напор проходит через поверхность при данном тепловом потоке. Другими словами, при поддержании такого количества тепла, передаваемого в единицу времени, будет

такая разность температур поверхностей. В реальности температура схемы будет отличаться из-за неравномерности среды. Если устройство эксплуатируется не в низких давлениях, то учитывается ещё и наличие конвекции – теплового сопротивления на границе «металл – окружающая среда», которая вносит существенный вклад в итоговое сопротивление печатной платы.

Тем не менее, данный метод позволяет качественно оценить способность платы задерживать тепло и при необходимости определить приблизительную температуру на контактной площадке (рис. 2).

Для улучшения транспорта тепла желательно уменьшить толщину диэлектрика, но в данном случае может произойти местный перегрев с последующим браком. Также недостаточная толщина как диэлектрика, так и токопроводящего слоя может привести к возникновению паразитных емкостей и пробою, что немаловажно при использовании металлического теплоотвода. Производители рекомендуют толщину диэлектрика 100 – 150 мкм при использовании медного слоя толщиной 35 – 50 мкм [3].

Толщина теплоотвода практически не влияет на тепловое сопротивление платы, поэтому подбирается исходя из требований по габаритам и жесткости платы. В основном толщина составляет 1 – 1,5 мм[3].

Еще одним способом уменьшения теплового сопротивления является выбор материалов с более высокой теплопроводностью, что несомненно отражается на стоимости. Другой метод заключается в использовании специальных теплоотводящих отверстий, расположенными под компонентами, и применяется при производстве многослойных печатных платах, где можно применить металлизацию отверстий. В данном примере односторонняя плата представляет собой готовый для фотолитографии продукт, где сверление отверстий приведет к повреждению изоляции теплоотвода.

Заключение

Тепловое моделирование плат позволяет избежать проблем, связанных с перегревом, при изготовлении устройств. Для быстрой оценки резисторная модель тепловых сопротивлений позволяет подобрать толщины слоев платы и выявить допустимую мощность, подаваемую компонентами. Зная критические температуры материалов, можно также определить ориентировочный температурный диапазон эксплуатации устройства. Данный способ не является точным и не учитывает все нюансы передачи тепла, но позволяет качественно оценить теплоотвод, не прибегая к помощи средств автоматизированного проектирования.

Литература

ЛеоновА. Рекомендации по проектированию печатных плат для интегральных модулей питания сериiLMZ //Журнал Компоненты и технологии – 2010. – [Электронный ресурс]. URL:http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010_11_161.pdf.

Информационные материалы фирмы Bergquist. [Электронный ресурс]. URL: www.bergquistcompany.com.

Максимов А. Печатные платы с металлическим основанием: свойства и технологии. [Электронный ресурс] // Печатный монтаж. Электрон. журн. 2009. N 6. URL: http://www.circuitry.ru/files/article_pdf/2/article_2240_121.pdf.

УДК 621.3.049.75

ВНУТРЕННИЙ МОНТАЖ РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ВЫСОКОПЛОТНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

Руслан Игоревич Фёдоров

Студент 4 курса
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Число компонентов, входящих в состав сложных, многофункциональных устройств, постоянно возрастает, причем большинство компонентов относится к пассивным. Множество пассивных компонентов не только занимает площадь платы, ограничивая возможность миниатюризации, но также снижает электрические характеристики устройств из-за большой длины межсоединений и значительного числа паяных соединений.

Существующая альтернатива традиционному размещению компонентов на поверхности платы – это внутренний монтаж, то есть размещение компонентов как пассивных, так и активных в объеме печатной платы [1]. При помощи внутреннего монтажа можно достичь наиболее плотного размещения компонентов, однако монтируемые элементы могут представлять собой как готовые элементы в Chip-корпусах, так и формироваться в процессе изготовления платы [2]. В таблице 1 приведены технологические параметров резисторов для различных типов элементов.

Таблица 1. Технологические параметры резисторов

Параметры	Резисторы в низкопрофильных Chip-корпусах [3]	Тонкопленочный резистор (NiCr) [4, 5]	Толстопленочный резистор [6, 7]
Максимальное сопротивление*	1МОм	10,5кОм	1МОм
ТКС	100PPM/℃	100PPM/℃	200PPM/℃
Мощность рассеивания	63мВт	150-250мВт	30мВт
Стабильность	3%	0,02%	0,5%
Допуск	1%	5%	1%
Материал основания платы	Полиимид, стеклотекстолит фольгированный	Полиимид	Керамика (LTCC, поликор, нитрид алюминия, кремния)
Материалы для монтажа/ формирования резисторов	Припой или адгезив	Pyralux APR (DuPont, США)	Резистивная паста
Диапазон рабочих температур	-55…+125℃	-55…+125℃	-55…+125℃
Максимально допустимое температурное воздействие при обработке	до 40 сек при 250℃	до 0,5 ч при 250℃	до 5 с при 235℃
Работа в условиях повышенных вибраций	–	+	+

*Примечание. Максимальное сопротивление при занимаемой площади 0,5мм^2 (типоразмер 0402).

При изготовлении многослойных печатных плат одним из этапов является прессование, требующее повышенных температур (до 250 °С). Сделан вывод, что наиболее пригодны для

прессования тонкопленочные резисторы, сформированные на материале Pyralux APR (DuPont, США). Пленочная технология формирования резисторов, размещаемых на внутренних слоях многослойной платы, позволяет устройству работать при повышенных вибрациях, однако такие резисторы имеют низкое сопротивление в сравнении с другими типами. Для цепей, требующих высокого сопротивления, внутреннего монтажа тонкопленочных резисторов будет недостаточно, поэтому необходим монтаж Chip-резисторов высоких номиналов по поверхности готовой платы традиционными методами пайки.

Литература

Нисан А. Встраивание пассивных и активных компонентов в печатные платы –альтернатива печатному монтажу. // Электроника: НТБ. 2011. №6. С. 84-92.

Тюлькова А.А., Боброва Ю.С. Печатные платы со встроенными резистивнымиэлементами. // Будущее машиностроения России. Москва, 2016. С. 312-315.

Маркировка чип-резистора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.radiobox.ru/guides/223-0332.pdf (дата обращения 14.03.2017).

Chammas H. Embedded Passive Technology. // Printed Circuit Design & Fab: CircuitsAssembly. 2015, Vol. 32, No. 1, P. 30-35.

American Technical Ceramics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.etsc.ru/files/atc/atc_ltcc_products_guide_rus.pdf (дата обращения 14.03.2017).

Резисторы SMD (для поверхностного монтажа) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dart.ru/cataloguenew/resistors/ty/html/chip.shtml (дата обращения 14.03.2017).

Толстопленочные резисторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://ru.mouser.com/Passive-Components/Resistors/SMD-Resistors-Chip-Resistors/ (дата обращения 14.03.2017).

УДК 681.586.711

КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Артем Павлович Федюнин

Магистр1года,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Т. Рябов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

В настоящее время все большее применение в народном хозяйстве находят пленки, состоящие из островковых наноразмерных структур. Такие покрытия обычно получают методами

элионных технологий при сниженных скоростях осаждения с остановкой технологического процесса по достижении требуемой толщины пленки.

Методы определения толщины покрытийво время их нанесения весьма разнообразны. Гравиметрические методы (микровзвешивание, метод кварцевого резонатора) основаны на измерении масс тонкопленочных покрытий, по которым затем рассчитываются толщины. Оптические методы основаны на интерференции, поскольку толщины пленок по порядку величины близки к длинам волн оптического излучения.

В случае формирования островковых наноструктурированных пленок из проводящего материала на диэлектрическом основании более надежным критерием окончания процесса является достижение пленкой необходимого электрического импеданса. Поэтому в промышленности применяют и электрические методы контроля, например, контроль сопротивления таких пленок [1].

Существующие методы контроля

Метод микровзвешивания

Метод микровзвешивания, в основном используемый в производстве гибридных интегральных микросхем, состоит в определении приращения массы подложки после нанесения на нее пленки.

Этот метод несложен, но требует, чтобы форма подложки была простой, а ее поверхность должна быть в хорошем состоянии. Кроме того, на точность измерений влияет удельная масса нанесенного материала, которая может изменяться в зависимости от условий технологических режимов (остаточного давления в рабочей камере, степени чистоты подаваемого в камеру рабочего газа и др.). При измерении толщины пленки взвешиванием считается, что плотность нанесенного вещества равна плотности массивного [2].

Резонансно-частотный метод

Широко распространен контроль скорости нанесения пленок резонансно-частотным методом. В качестве датчика в этом методе используют включенный в контур генератора частоты кварцевый элемент [2].

Принцип действия кварцевого датчика основан на зависимости частоты генерируемых сигналов от изменения массы кварцевого элемента при нанесении на его поверхность пленки [2]. Монитор для измерения толщины тонких пленок проводит расчеты, исходя из предположения, что изменение резонансной частоты происходит только из-за изменения массы вещества, осаждаемого на кварцевом кристалле [3].

С увеличением массы кварцевого элемента его резонансная частота падает. Таким образом, по изменению скорости (сдвига) резонансной частоты, фиксируемому измерительным прибором, определяют скорость роста пленки.

Точность измерения толщины тонких металлических и диэлектрических пленок в интервале от 10 нм до 5 мкм составляет ±10%. Существенным недостатком метода является то, что помимо градуировки по осаждаемому материалу необходима также периодическая чистка кварцевых элементов от осажденной пленки [2].

Метод эллипсометрии

Метод эллипсометрии основан на изменении поляризации света при отражении от тонкой прозрачной поверхности. При освещении подложки линейно-поляризационным светом составляющие излучения отражаются по-разному, в результате чего свет получается эллиптически поляризованным (рисунок 25). После измерения эллиптичности отражённой волны можно определить свойства плёнки [1].

Рисунок 25 - Взаимодействие поляризованного света с образцом

Основное уравнение эллипсометрии, связывающее между собой эллипсометрические параметры дельта (Δ) и пси (Ψ) и комплексные значения коэффициентов отражения по амплитуде R_p и R_s для p- и s-поляризованного света, записывается в виде:

$$\rho = \frac{R_p}{R_s} = \mathrm{tg}\left(\Psi \cdot e^{i\cdot\Delta}\right) \qquad (1)$$

Как видно из уравнения (1), в процессе измерения определяются не абсолютные, а относительные величины, что является важным достоинством метода. По измеренным величинам Δ и Ψ при решении обратной задачи эллипсометрии на основе выбранной модели рассчитываются оптические параметры поверхности образца [4].

Проведенные в работе [4] экспериментальные измерения нанесенных ионно-лучевым напылением тонких пленок показали, что эллипсометрические измерения параметров тонких пленок являются точным и надежным методом контроля технологического процесса изготовления сложных композиционных покрытий, включая и прецизионные покрытия высокоотражающих лазерных зеркал [4].

Метод резистивного и емкостного контроля

Напрямую измерение электрического сопротивления пленок проводят резистивным датчиком с внешним измерительным прибором. Этот метод основан на том, что по мере утолщения пленки в процессе роста ее сопротивление уменьшается. Это позволяет контролировать сопротивление пленки непосредственно при ее нанесении.

При измерениях (рисунок 26) предварительно изготавливают контрольную подложку (свидетель) 1 из изоляционного материала, на которую наносят плоские контактные площадки 2 из материала высокой проводимости. Затем эту подложку-свидетель устанавливают в рабочую камеру как можно ближе к рабочей подложке 3, чтобы обе подложки при нанесении пленки находились в одинаковых условиях. Пленку наносят на контрольную и рабочую подложки одновременно.

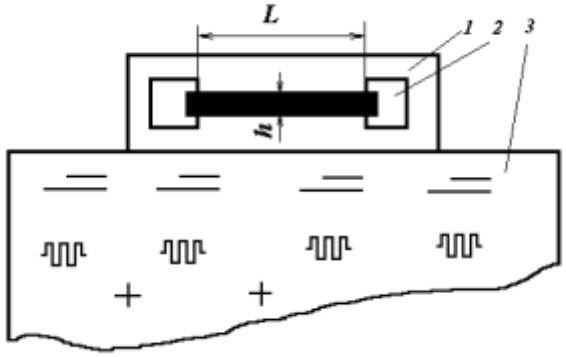


Рисунок 26 - Схема измерения резистивным методом

По мере роста пленки сопротивление уменьшается, и соответственно уменьшается сопротивление резистора-свидетеля. При достижении заданного сопротивления наносимой пленки на свидетеле по цепи обратной связи поступает сигнал, которым закрывается заслонка.
Погрешность измерения сопротивления при контроле этим методом составляет примерно ±10% и определяется неравномерностью толщины пленки по поверхности, а также погрешностями средств измерения.
Чувствительность метода составляет от 1 до 5 нм, а предельная толщина измеряемых пленок - около 1 мкм [2].
Недостатком метода является отсутствие точных данных об удельном сопротивлении плёнки, которое может значительно отличаться от удельного сопротивления объёмного образца. Поэтому этот метод удобно использовать в тонкоплёночной технологии, когда необходимо измерять не толщину плёнки, а её удельное сопротивление [1].
Для этого метода в работе предложена система измерения и методика проведения эксперимента, согласно которой проведены пробные технологические циклы по фиксированию сопротивления покрытия в процессе ее нанесения.
Проведенный эксперимент
Конструкция установки УВН-1М
Эксперименты по определению сопротивления тонкой пленки в процессе ее нанесения проводились на базе кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана на установке вакуумного нанесения тонких пленок УВН-1М.
Система автоматического управления установкой в каждом технологическом цикле создает файл истории, куда ежесекундно записывается информация, поступающая с промышленного контроллера на управляющий компьютер. Эта информация описывает текущее состояние ключевых элементов технологической установки, например, частоту вращения вала турбомолекулярного насоса, показания вакуумметров и сопротивление пленки.
В настоящее время установка проходит модернизацию, конечной целью которой является повышенная степень автоматизации установки при нанесении островковых наноструктурированных покрытий.
Технологическая оснастка установки
Рабочая камера установки имеет цилиндрическую форму и с торцов закрыта фланцами. Нижний фланец представляет собой технологический модуль, определяющий метод формирования покрытия. Верхний фланец сочетает функции закрепления подложки, ее нагрева и защиты от окислов, выделяющихся с мишени при выходе на режим.
Конструкция подложкодержателя (рисунок 27) включает в себя систему, позволяющую фиксировать текущее сопротивление наносимой пленки и тем самым контролировать ее толщину. Элементы конструкции электрически изолированы друг от друга посредством диэлектрических элементов.

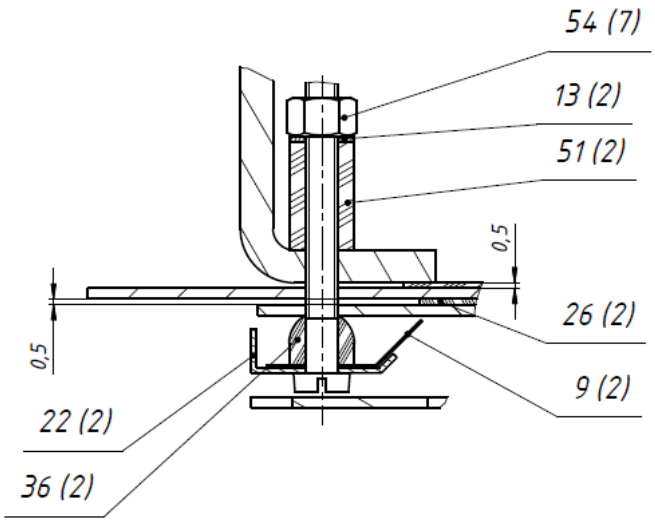


Рисунок 27 - Эскиз подложкодержателя

Кроме того, на подложкодержателе сконструированы два держателя из бериллиевой бронзы, позволяющие наносить пленку на пластину диаметром до 40 мм и осуществляющие прижим подложки к подложкодержателю.

Измерительная схема

При проведении технологического процесса по нанесению тонких пленок в вакуумной камере могут возникнуть мощные потоки заряженных частиц, которые при попадании на бериллиевые щупы подложкодержателя неизбежно вызовут резкое возрастание силы тока в измерительной цепи. Такие мощные наведенные заряды приведут к выходу из строя аттестованных дорогостоящих средств измерения, вследствие чего для предварительных работ принято решение использовать примитивную, но недорогую систему измерения.

Схема, с помощью которой производились измерения сопротивления пленки, предусматривает использование аналого-цифрового преобразователя (АЦП) промышленного контроллера ADAM5510. АЦП необходим для формирования дискретного сигнала, пропорционального напряжению через формируемую пленку, и передачи его в систему управления. Погрешность такого преобразования составляет ±1,5 дискреты АЦП.

Используемая схема (рисунок 28) представляет собой последовательно подключенные к формируемой пленке резисторы R1 и R2.

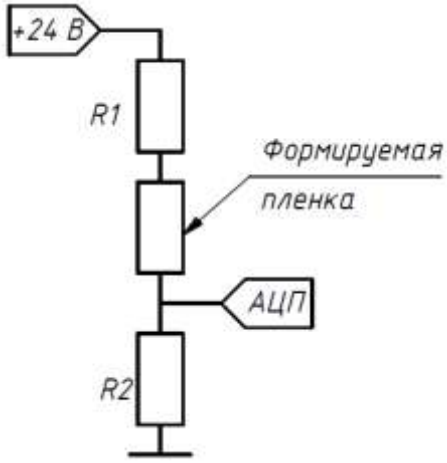


Рисунок 28 – Измерительная схема

При используемой комбинации номиналов резисторов зависимость выходного напряжения цепи от сопротивления формируемой пленки U_{out} (R_f) имеет вид:

$$U_{out}(R_f) = \frac{U_{in}R_2}{R_1+R_2+R_f}, \quad (2)$$

где U_{in} – входное напряжение цепи, $U_{in}=24$ *В*;
R_1 – сопротивление первого резистора, $R_1=50$ *кОм*;
R_2 – сопротивление второго резистора,$R_2=30$ *кОм*.
Шаг квантования по напряжению является постоянной величиной и определяется по формуле (3):

$$h = \frac{U_{ref}}{2^n - 1} = 2{,}44 \text{ мВ}, \quad (3)$$

где U_{ref} – опорное напряжение АЦП, $U_{ref}=10$ *В*;
n – количество разрядов АЦП, $n=12$.
В указанной схеме сила тока $I(R_f)$, протекающего через формируемое покрытие согласно закону Ома, будет определяться следующим образом:

$$I(R_f) = \frac{U_{in}}{R_1 + R_2 + R_f} \quad (4)$$

Шаг квантования напрямую влияет на точность контроля технологического процесса - чем он меньше, тем точнее снимаются параметры наносимого покрытия. При данном подключении резисторов зависимость шага квантования по сопротивлению от сопротивления пленки $h_R(R_f)$ примет вид:

$$h_R(R_f) = \frac{h}{I(R_f)} \quad (5)$$

На основании полученной зависимости (5) построены графики (рисунок 29) в диапазонах от 1 до 10 МОм (соответствует формированию островкового покрытия) и от 1 до 100 Ом, при котором происходит образование сплошного покрытия.

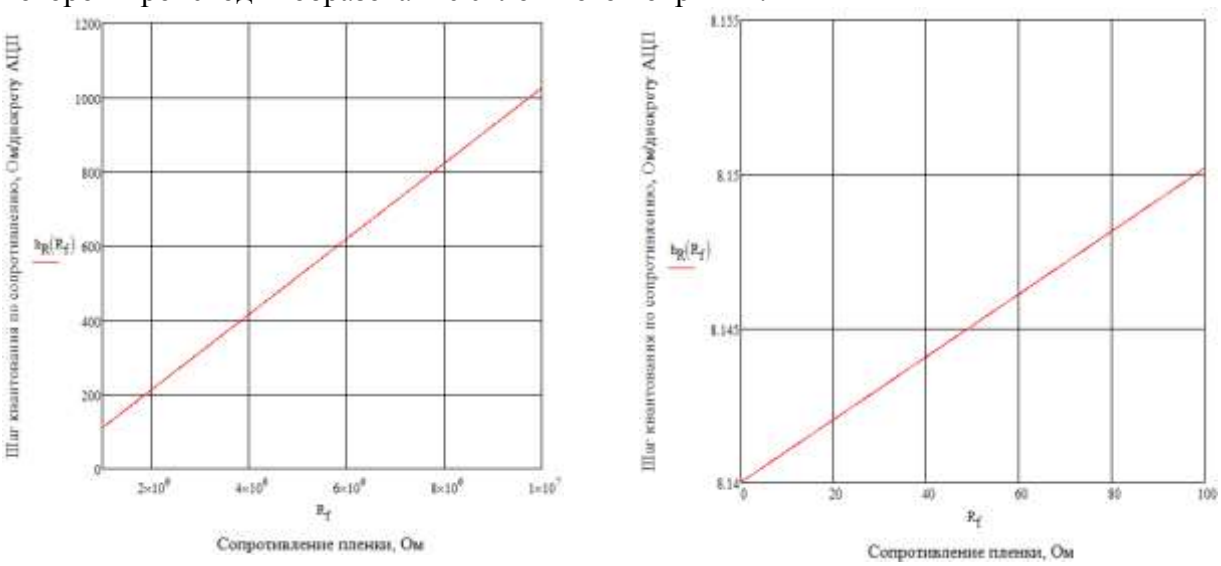


Рисунок 29 – Зависимость шага квантования сопротивления от сопротивления пленки

Как видно из графической иллюстрации выражения (5) шаг квантования по сопротивлению составляет для моментов: образования островковых структур – порядка 1026 Ом/дискрету АЦП, образования сплошной пленки – порядка 8,14 Ом/дискрету.
Методика эксперимента
На основании анализа ранее проведенных экспериментов были выявлены наиболее существенные факторы, которые влияют на точность измерения сопротивления пленки в течение технологического процесса:
попадание заряженных частиц, возникающих при магнетронном распылении, на бериллиевые щупы подложкодержателя, что вызывает увеличение силы тока в измерительной цепи;
образование «теневой» зоны (рисунок 30), где отсутствует контакт между наносимой пленкой и щупами измерительного устройства.

Рисунок 30 - Образование «теневой» зоны

С целью исключения первого фактора на узел подложкодержателя был смонтирован медный экран. Для устранения «теневой» зоны использовались подложки с предварительно сформированными медными контактными площадками. При использовании таких подложек щупы измерительного устройства попадают на контактные площадки без образования разрывов в цепи.

Контактные площадки нанесены методом термического испарения на стеклянную подложку. Эскиз опытного образца представлен на рисунке .

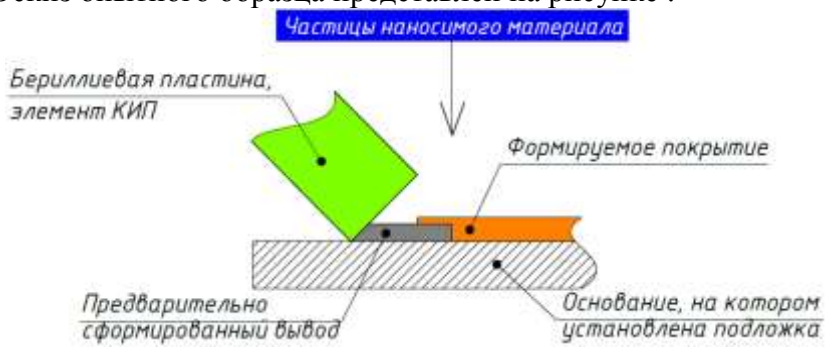


Рисунок 31 - Эскиз опытного образца

Внешний вид полученных образцов показан на рисунке .

Рисунок 32 - Внешний вид образцов

С помощью программы дешифровки файла истории было получено количество дискрет аналого-цифрового преобразования D, в котором зашифровано сопротивление пленки. Формула (6) позволила пересчитать эти значения в сопротивление пленки R_f.

$$R_f(D) = \frac{U_{in} \cdot R_2}{D \cdot h} - (R_1 - R_2) \qquad (6)$$

Рассчитанные значения сопротивления пленки должны сравниваться со значениями, полученными поверенным измерителем иммитансаGWInstekLCR-816.

Результат эксперимента и обсуждение

По указанной методике были сформированы два сплошных проводящих покрытия. Дешифровка файлов истории экспериментов с учетом погрешности аналого-цифрового преобразования позволила сопоставить значения сопротивления пленки, полученные измерительной системой установки и измерителем иммитанса. Режимы проведения термического испарения и магнетронного распыления указаны в таблице и соответственно.

Таблица 3 - Режим проведения термического испарения

Давление, Па	10^{-2}
Ток, А	9
Продолжительность, с	1200

Таблица 4 - Режим проведения магнетронного распыления

Давление, Па	10^{-1}
Ток, мА	30
Напряжение, В	1000
Продолжительность, с	300

Результаты измерения покрытий, полученных магнетронным распылением и термическим испарением, приведены в таблице .

Таблица 5 - Результаты измерения сопротивления тонкой пленки

Метод	Сопротивление, полученное	
	измерителем иммитанса, Ом	измерительной системой установки, Ом
Термическое испарение	10^7	$3{,}14\text{x}10^5 – 3{,}16\text{x}10^5$
Магнетронное распыление	270	$3{,}79\text{x}10^4 – 3{,}81\text{x}10^4$

Из таблицы видно, что сопротивления, измеренные описанными способами, достаточно сильно различаются. Это может быть связано с:

невысокой эффективностью экрана, защищающего элементы измерительного устройства от заряженных частиц;

неэффективностью электрической изоляции в технологической оснастке установке, вследствие чего вносимые шумы слишком велики.

Выводы и результаты

Проведенные эксперименты по определению сопротивления тонкопленочного проводящего покрытия показали несоответствие результатов, выдаваемых разработанной системой измерения и поверенным измерителем иммитанса.

Исходя из ранее изложенных причин, при продолжении работ по модернизации системы измерения сопротивления пленки в процессе ее нанесения требуется придерживаться следующих принципов:

для контроля сопротивления пленки в процессе ее нанесения следует применять аттестованные прецизионные приборы;

усовершенствовать защитный экран, полностью исключив возможность частиц попадать на чувствительные элементы и щупы контрольно-измерительной системы узла подложкодержателя путем увеличения площади защитного экрана;

применять кратковременное нанесение пленки (импульсное нанесение), то есть программно задать временной интервал, в течение которого в камере будет работать магнетрон;

для получения наиболее близкого к действительности итогового сопротивления пленки следует применять методы, более точные, чем использование мультиметра, например, четырехзондовый метод измерения сопротивления, подробно описанный в [5].

Литература

Булан Д.И. Сравнительный анализ и методы измерения толщины оптического покрытия в процессе нанесения // Материалы X Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов БНТУ. – Минск. – 2014. – [Электронный ресурс]. Систем.требования: Adobe Acrobat Reader.

Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах). Под ред. Б. Бхушана: Том I / М.: Техносфера, 2010.

Информационный бюллетень «Измерительное оборудование для напылительных технологий». – 2016. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.actan.ru/evrpcrstrc.html (дата обращения: 3.03.2017).

Азарова В.В., Фокин В.В. Эллипсометрический контроль тонких диэлектрических пленок SiO2 и Ta2O5 при изготовлении прецизионных лазерных зеркал. – 2009. – [Электронный ресурс]. Систем.требования: AdobeAcrobatReader. - URL: http://nuclphys.sinp.msu.ru/school/s10/10_29.pdf (дата обращения: 3.03.2017).

Паршин А.С. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Твердотельная электроника». – 2003. – [Электронный ресурс]. – URL: http://sibsauktf.ru/courses/vpe-te/metod/lab8.htm (дата обращения: 10.06.2016).

УДК 535.44 УДК 621.9.044

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ЛАЗЕРОВ CO2 И УФ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Вячеслав Валерьевич Хриченко, Наталья Александровна Сачкова

Магистры 1 года,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С.Боброва,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Для достижения больших скоростей передачи данных и увеличения быстродействия необходимо переходить на новые технологии. Эта проблема была решена в телекоммуникациях, основной принцип которых построен на использование оптоволокна в качестве линий соединения. В применении к печатным платам, для передачи информационных сигналов, используются оптические волноводы в качестве линий связей. Для формирования оптических волноводов в объеме печатной платы необходимо сформировать полости для их закладки.

Обеспечить требуемые размеры полостей позволяет регулируемое пятно контакта лазерного луча [1]. Таким образом, варьируя типом излучения лазера и входными параметрами удалось определить влияние излучений от CO_2 и УФ лазера на заготовки оптоэлектронных модулей.

Основными требованиями, предъявляемыми к поверхностям оптических топологических элементов, вне зависимости от способа обработки, являются низкая шероховатость и высокая чистота.

Важное значение в процессе лазерной обработки имеет отсутствие не предусмотренных технологией химических реакций, например, горения или выжигания материала, окисление или науглероживания поверхностного слоя, плавление материала вне зоны контакта.

Известно, что при использовании CO_2-лазера для обработки органических поверхностей, возможно нежелательное выгорание обрабатываемой поверхности [2]. Исключение возможности выгорания было достигнуто заменой применяемого лазера на эксимерный [3].
Целью работы является оценка степени применимости УФ и CO_2-лазеров в технологическом процессе изготовления оптоэлектронных модулей.
Эксперимент проводился на установках TROTEC, Speedy 300 (длина волны 10,6 мкм) [4] и Asida, JG17R (длина волны 808 нм) [5].
В ходе первого эксперимента на заготовке с нанесенным оптическим полимерным слоем излучением различной мощности на CO_2 лазере были сформированы риски длиной 5 мм с шагом 5 мм; повторные действия были проведены на УФ-лазере. Ширина рисок была измерена с помощью микроскопа, был проведен оптический контроль и выявление дефектов.
Второй эксперимент заключался в отрезании заготовки с нанесенным оптическим полимерным слоем CO_2 и УФ-лазерами, был проведен оптический контроль сформированных торцев и выявление дефектов.
В каждом из экспериментов при повышении мощности излучения CO_2 возрастает площадь плавления полимера вне пятна контакта. При резке заготовки CO_2 лазером происходит горение в пятне контакта.
Из проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что использование CO_2-лазера приемлемо для формирования топологии оптоэлектронных модулей на малых мощностях, в то время как эксимерные УФ-лазеры могут быть использованы как для формирования топологии, так и для резки и разделения заготовок с интегрированными оптическими соединениям.

Литература

Парфенов В. А. П55 Лазерная микрообработка материалов: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 59 с.
http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02_08/stat_164.htm
Вейко В.П., Петров А.А. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Раздел: Введение в лазерные технологии.– СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 – 143 с.
https://www.troteclaser.com/fileadmin/content/images/Contact_Support/Manuals/Speedy-300-Manual-EN.pdf
http://www.ostec-st.ru/catalog/equipment/oborudovanie-asida/ustanovki-lazernogo-sverleniya-serii-jg-uv-22f-jg-uv-23f/?sphrase_id=10216

УДК 62-585.121

ПРОЕКТ ДАТЧИКА РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Артём Валерьевич Шелупинин

Магистр 1 года,
кафедра «*Электронные технологии в машиностроении*»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.В. Жуков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «*Электронные технологии в машиностроении*»

Пневматические цилиндры, как штоковые так и бесштоковые, применяются повсеместно для автоматизации технологических процессов и линий производства. При разработке, а также эксплуатации пневматических устройств и механизмов, зачастую приходится решать задачу о выборе и оптимизации режимов работы конкретного механизма. Для решения данной задачи порой необходима разработка, либо адаптация средств измерения и контроля параметров.

Современная элементная база средств измерений и их контроля является весьма обширной, и как правило предоставляет уже готовые технические решения. Однако, такие решения зачастую являются избыточными для потребителя, что приводит к дополнительным финансовым затратам.
Настоящая работа представляет собой решение задачи о выборе средства измерения и контроля параметров комбинированного пневматического привода. Практическая значимость работы обусловлена необходимостью изучения возможностей и режимов комбинированного привода.
Решение данной задачи достигается за счет выбора способа измерений, и способа контроля измерений. Для обеспечения фиксирования и контроля измерений было разработано соответствующее программное обеспечение.

Литература

1.*Островский Л.А*. Основы общей теории электроизмерительных устройств. — Л.: Энергия, 1971. — 544 с.
2.*Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. — 592 с.
3.*Вульвет Дж*. Датчики в цифровых системах/ Пер. с англ. В88 Под ред. А.С. Яроменка. М.: Энергоиздат, 1981.— 200 с.
4. http://www.sensor-systems.ru/userfiles/files/LTM_A.pdf
5. http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Summary.pdf

УДК 621.385

ПЕЧЬ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ПОВЕРХНОСТНО МОНТИРУЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Олег Дмитриевич Якушев, Павел Александрович Долинин

Магистры 1 года
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители:
А.М. Базиненков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»
С.П. Бычков,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

ВВЕДЕНИЕ

В наш бурный век технологий главным преимуществом электронного изделия является минимальность размера, надежность, легкость монтажа/демонтажа и удобство использования. Все это сложно представить без SMT технологии (**S**urface**M**ount**T**echnology) – технологии поверхностного монтажа, и, соответственно без SMD (**S**urface **M**ounted **D**evice) компонентов.

Рис. 1 – SMD резисторы [1]

Рис. 2 – Обычные резисторы [2]

Благодаря этому, можно размещать больше SMD компонентов на единицу площади, чем обычных, штырьковых, компонентов. В следствии этого повышается плотность монтажа компонентов, что в свою очередь ведет к уменьшению габаритов электронного устройства.

Также, в отличии от обычных компонентов, у SMD компонентов минимизированы паразитные параметры. Вследствие этого улучшается качество передачи слабых сигналов, происходит уменьшение помех в высококачественных системах.

ПАЙКА SMDКОМПОНЕНТОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Перед операцией пайки необходимо произвести ряд вспомогательных операций.
Первой из таких операций является нанесение паяльной пасты на поверхность печатной платы. В настоящее время в массовом производстве печатных плат основным является метод трафаретного нанесения пасты, в котором паста продавливается через трафарет (окна) на контактные площадки печатной платы. Припойная паста уже содержит в себе и припой, и флюс, а их пропорция одна из важных характеристик пасты.Отверстия в трафарете обычно прорезаются лазером или протравливаются.
В массовом производстве этот метод эффективен, но относительно не гибок, так как свой собственный трафарет (причем несколько) требуется для каждой платы. Гибкость достигается только за счет быстрой смены трафарета и автоматического распределения пасты. Схема нанесения пасты трафаретным методом показана на рисунке 3.

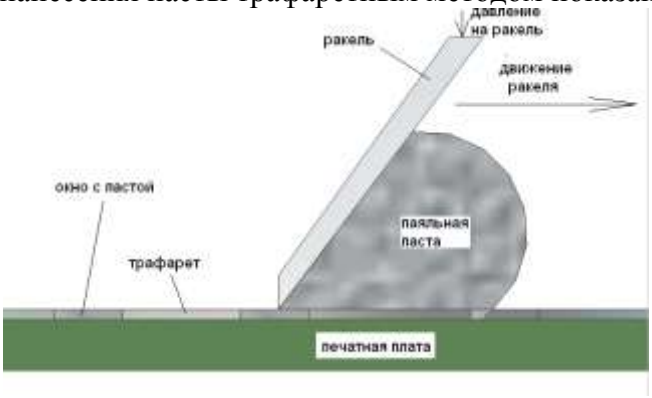


Рис 3 – Схема нанесения пасты трафаретным методом показана [3]
Таблица 1 – Преимущества и недостатки трафаретного нанесения

Преимущества	Недостатки
Высокая производительность	Высокие требования к чистоте трафарета
Высокая повторяемость процесса	Необходимость контроля технологии нанесения

Далее следует операция монтажа SMDкомпонентов на поверхность печатной платы.

На сегодняшний день SMDкомпоненты на поверхность платы можно устанавливать тремя методами:

Метод поочередной установки. Один компонент устанавливается одной установочной головкой.

Метод поочередно-одновременной установки. Несколько компонентов может быть установлено одновременно.

Метод одновременной установки. Все или большинство компонентов устанавливаются за один раз.

Схемы этих методов приведены на рисунках 4, 5 и 6.

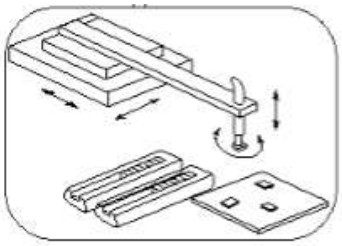


Рис. 4 – Метод поочередной установки [3]

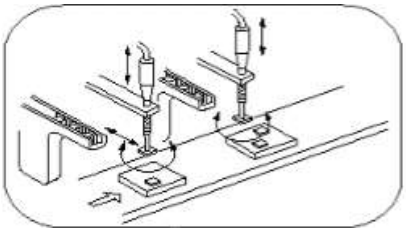


Рис. 5 - Метод поочередно-одновременной установки [3]

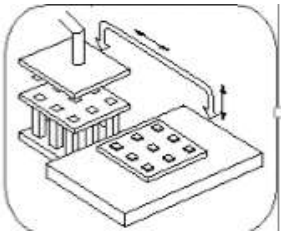


Рис. 6 - Метод одновременной установки [3]

Машины одновременной установки компонентов значительно производительней. Скорость установки компонентов может достигать 300000 компонентов в час, однако эти машины не так просты и гибки в настройке. Если для изменения места установки компонента в машинах поочередного и поочередно-одновременного типа достаточно изменить программы, то для машины одновременной установки требуются значительные ложные механические изменения. Поэтому, эти машины используются, в основном, для особо больших партий изделий [3].

После того как паста нанесена на поверхность платы и компоненты установлены следует пайка оплавлением.

Пайкой оплавлением называется метод пайки, при котором плата с компонентами, установленными на точках припоя, проходит через печь, в которой происходит расплавление припоя и формирование паянных соединений. Оператор вводит температурный профиль данной партии плат в контроллер печи, который изменяет температуру нагревателей в зависимости от времени. Атмосфера печи также хорошо контролируется, в том числе возможно использование вакуума. Печатные платы с не припаянными компонентами непрерывно подаются в печь оплавления припоя с одного конца и выходят с другого конца с уже припаянными компонентами. Таким образом, встроенные печи могут быть частью общего конвейера. Они получают платы по конвейеру от установочного автомата без вмешательства оператора. Температура различных зон по длине печи и скорость конвейера определяют температурный профиль пайки оплавлением. [4]

ПЕЧЬ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ПОВЕРХНОСТНО МОНТИРУЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Для осуществления пайки оплавлением в массовом производстве печатных плат используют печь конвейерного типа с конвективным нагревом. В данных печах печатная плата движется по конвейеру внутри печи, проходя через несколько температурных зон: зону предварительного нагрева, зону стабилизации, зону оплавления, зону охлаждения. В каждой температурной зоне устанавливается соответствующая температура воздушного потока, позволяющая сформировать требуемый температурный поток.

Основной технологической характеристикой пайки является температурный профиль пайки. Типовой температурный профиль пайки показан на рисунке 7.

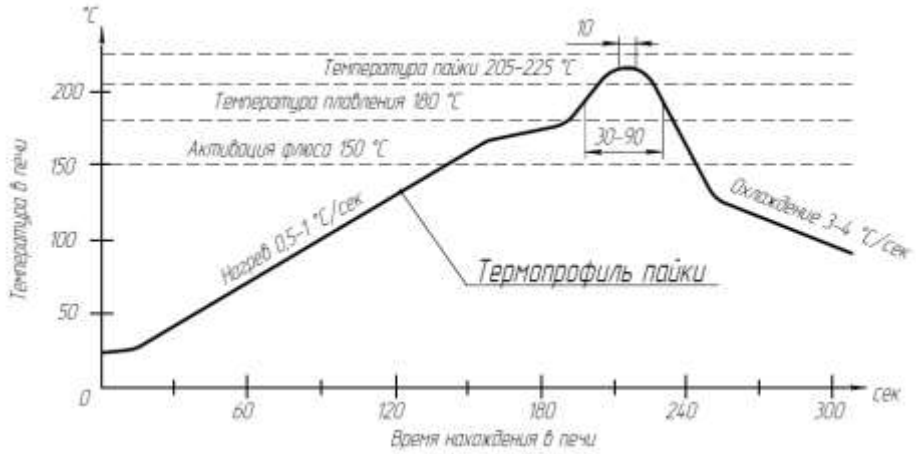


Рис 7 – Температурный профиль пайки

В некоторых случаях используется конвекционная пайка в инертной среде, при которой в рабочую область печи подается инертный газ (азот) для уменьшения процесса окисления расплавленного припоя. Использование инертного газа способствует улучшению качества паяльного соединения.

В рамках выполнения курсового проекта «Расчет и конструирование технологического оборудования» была спроектирована конвейерная печь с конвекционным нагревом. Ее комплексная принципиальная схема представлена на рисунке 8.

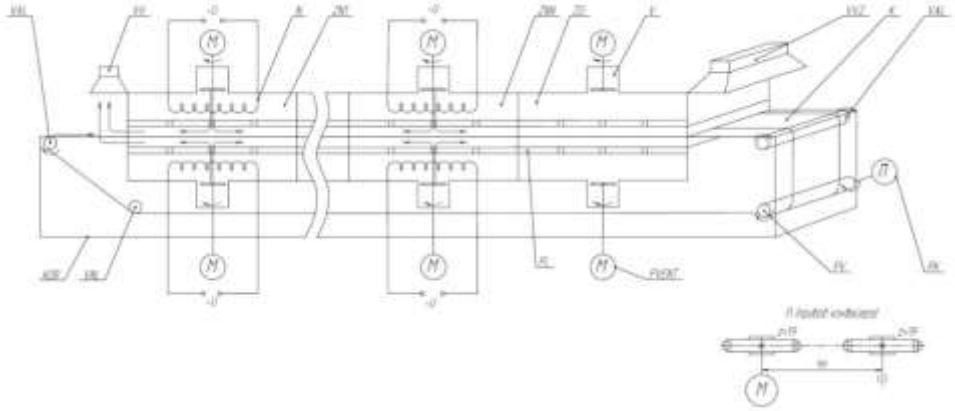


Рис. 8 – Комплексная принципиальная схема конвейерной печи

Информация о составляющих частях установки представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Информация о составляющих частях установки

Наименование	**Обозначение на схеме**	**Количество**	**Основные характеристики**
Нагревательный элемент	NE	6	P=1 кВт t=350 ˚C
Рабочая зона	ZN1	1	Габариты 330х400х150 мм
Конвейер	K	1	V=200…1000 мм/мин Ширина конвейера 300 мм
Привод конвейера	PK	1	Мощность двигателя P=1 Вт

Плата, с нанесенной на нее паяльной пастой и установленными компонентами, попадает на ленточный конвейер, вращение которого обеспечивает цепной привод, и начинает движение вдоль четырех рабочих зон печи.

Первая зона – зона предварительного нагрева. Позволяет снизить тепловой удар на электронные компоненты и печатные платы. В процессе предварительного нагрева происходит испарение растворителя из паяльной пасты. Происходит конвективный платы нагрев до 100 ˚C.
Вторая зона – зона стабилизации. Происходит активация флюса и удаление избытка влаги из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Стадию

также называют «стадией температурного выравнивания», т.к. она должна обеспечивать нагрев всех компонентов на плате до одинаковой температуры. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150ºС.

Третья зона – зона оплавления. В этой зоне температура повышается до расплавления паяльной пасты и происходит формирование паяного соединения. Для его надежного образования максимальная температура пайки должна на 30-40 ºС превышать точку плавления пасты и составлять 205-225 ºС (на плате). Время, в течение которого палата находится выше точки плавления, должно быть в пределах 30-90 сек. Скорость повышения температуры в зоне оплавления должна составлять 2-4 ºС/сек.

Четвертая зона – зона охлаждения важна наравне с другими стадиями. Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть максимальной. В то же время высокая скорость охлаждения может вызвать термоудар по электронным компонентам. Рекомендуемая скорость охлаждения 3-4 ºС/сек до температуры ниже 130 ˚С.

Нагрев платы таким образом позволяет улучшить качество соединения, а также практически исключает возможность термического удара.

3Dмодель спроектированной печи представлена на рисунке 9, ее основные характеристики в таблице 3.

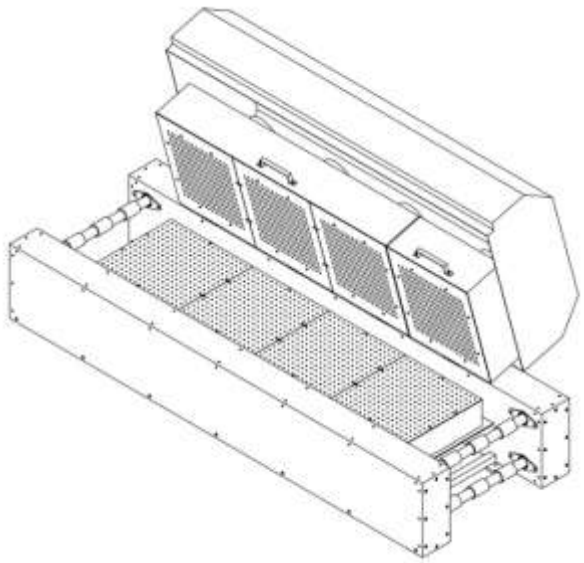


Рис. 9 – 3D модель спроектированной печи

Таблица 3 – Основные характеристики печи

Характеристика	**Значение**
Габариты	1800x740x600 мм
Масса	150 кг
Мощность	10 кВт
Электропитание	3 фазы, 380В
Ширина конвейера	300 мм
Максимальная высота компонента	55 мм
Максимальная скорость конвейера	1000 мм/мин
Время выхода в режим	15 мин
Зон нагрева	6
Зон охлаждения	2
Стабильность температуры	2˚С
Максимальная температура	350 ˚С

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пайка SMDкомпонентов является важнейшей операцией в производстве платы как конечного продукта, поскольку именно они обеспечивают требуемые характеристика электронного устройства. Используя спроектированную печь, можно получать паяльные соединения повышенного качества. Благодаря тому, что данная печь конвейерного типа ее легко можно интегрировать в производственную линию по производству печатных плат.

Литература

SMD резистор [Электронный ресурс] URL: http://profi-radio.ru/online-raschyot-soprotivleniya-smd-rezistora-po-tsifrovoy-markirovke.html (Дата обращения 01. 03. 2017 г.);
Резистор [Электронный ресурс] URL: http://radio-uchebnik.ru/el_baza_rez.html(Дата обращения 01. 03. 2017 г.);
Технология поверхностного монтажа [Электронный ресурс] URL: http://kkbweb.narod.ru/teoriya/smt_tehnology.htm (Дата обращения 03. 03. 2017 г.);
Пайка оплавлением припоя в технологии поверхностного монтажа [Электронный ресурс] URL: http://pcbdesigner.ru/pcb/montazh-pechatnykh-plat/pajka-oplavleniem-pripoya-v-texnologii-poverxnostnogo-montazha.html (Дата обращения 05. 03. 2017 г.);

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 621.373.826

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Артём Дмитриевич Алексанян, Иван Игоревич Камзолов, Константин Игоревич Макаренко

Студенты 6 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.В. Васильцов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

1. Лазерная наплавка бурового оборудования.

Лазерная наплавка обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева создает возможность вести процесс повышенных скоростях обработки. Это, в свою очередь, обусловливает:
1) Возможность формирования наплавленного слоя с малым коэффициентом перемешивания (0.05…0.15) за счет незначительного подплавления основы.
2) Минимальное термическое воздействие на основной металл, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения.
3) Незначительные остаточные деформации наплавленных деталей.
4) Возможность наплавки малых поверхностей, соизмеримых с диаметром пятна нагрева, в случае применения импульсных и импульсно - периодических лазеров.
5) Повышенные свойства наплавленных слоев.

Таким образом, малые деформации с одной стороны и высокие эксплуатационные свойства с другой создают предпосылки для применения этой технологии не только в процессе получения специальных свойств поверхности изделий, но и при изготовлении различных деталей машин и обработке бурового оборудования. Лазерная наплавка бурового оборудования может применяться при обработке таких его видов, как бурильные трубы, буровые долота, стабилизаторы бурового инструмента и буровые шнеки.

2. Лазерная сварка бурового оборудования.

Лазерная сварка имеет следующие преимущества перед альтернативными методами сварки бурового оборудования:
1) Узкая зона термического влияния за счёт высокой скорости сварки;
2) Прочность лазерного сварного соединения сравнима с прочностью основного металла;
3) Низкая деформация сварных изделий или полное её отсутствие;
4) Сварные швы с глубоким проплавлением (с отношением глубины проплавления к ширине шва меньше или равно 1);
5) Возможность подачи в зону сварки защитного газа и легирующих элементов (проволоки, ленты и т.д.);
6) Отсутствие пористости в сварных соединениях.
Технология лазерной сварки позволяет получить высококачественное неразъемное соединение лопастей бурового долота с его кованым корпусом, изготовить корпус секционного шарошечного долота, состоящий из нескольких секций, а также приварить к литому корпусу цельнокорпусного шарошечного долота лапы с шарошками.

3. Лазерная термическая обработка бурового оборудования.

Лазерная термообработка (ЛТО) — способ локальной модификации поверхности металлов. Преимущества ЛТО — возможность обработки в труднодоступных местах, минимальный объемный нагрев детали, отсутствие коробления, возможность обработки отдельных участков после сборки конструкции или узла. Технология ЛТО давно известна, но ее промышленное применение сдерживалось рядом экономических и технологических факторов, среди них отметим низкую энергетическую эффективность и необходимость нанесения поглощающих излучение покрытий при обработке мощными CO_2 - лазерами. Рис. 1 иллюстрирует внешний вид резьбы бурильной трубы после лазерного термического упрочнения.

Рис. 1. Резьба бурильной трубы после лазерного упрочнения.

Для повышения эксплуатационных характеристик (прочность, износостойкость, коррозионная стойкость и др.) таких видов бурового оборудования, как буровые штанги, бурильные трубы и буровые долота, представляется целесообразным производить лазерное термоупрочнение рабочих поверхностей нового бурового оборудования. Это позволит повысить срок его работы и снизить риск преждевременного износа.

Литература

1. *Мальков И.А.* Теория и практика применения гидромониторных долот в США. М.: 1958.
2. *Волков С.А., Волков А.С.* Справочник по разведочному бурению. М.: 1963.
3. *Корнеев К.Е., Палий П.А.* Буровые долота. 3-е изд. М.: 1971.
4. *Маркин Е.П., Лозовой А.К., Смирнов С.Н., Яхонтов Ю.Г.* Опыт промышленного применения лазерных технологических комплексов на базе волоконных генераторов // Известия вузов. Приборостроение, 2011. Т.54, №2.
5. *Макаренко К.И.* Исследование факторов, влияющих на геометрию газопорошкового потока при лазерной наплавке лучом прямоугольного профиля // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. №1.
6. *Макаренко К.И., Камзолов И.И., Алексанян А.Д.* Обзор лазерных технологий газопорошковой наплавки и термической обработки бурового оборудования // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. №1.
7. *Скрипченко А.И., Попов В.О., Кондратьев С.Ю., Вайнерман А.Е., Плавский Д.Н.* Лазерное упрочнение деталей бурового оборудования и инструмента. Режим доступа:

http://www.mirprom.ru/public/lazernoe-uprochnenie-detaley-burovogo-oborudovaniya-i-instrumenta.html (дата обращения 15.03.2016).
8. *Лукьянов М.В., Третьяков Р.С.* Получение композиционных материалов с карбидами вольфрама технологией лазерной наплавки // Всерос. научно-техническая конференция «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии»: труды. М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 2014.
9. Системы наплавки DrilTec® STC. Режим доступа: http://www.castolin-eutectic-oiltec.com/sites/default/files/ckfinder/files/ru-DrilTec-Catalogue-last-version.pdf (дата обращения 20.11.2016).

УДК 669

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА И УСТАНОВКИ КОАКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Fe-Cu-Ni и Al-Si

Денис Андреевич Баранов, Виктория Александровна Мягкая

Студенты 5 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: И.Н. Шиганов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Технологии, используемые в современной промышленности должны быть гибкими, энергосберегающими и, в частности, экономящими материал. Аддитивные производственные процессы, такие как, селективное лазерное плавление или направленное осаждения, создают детали путем послойного нанесения присадочного материала, используя CAD модель. Эти технологии используют меньше материала, чем обычные методы; поэтому, они превосходят альтернативные процессы особенно для аддитивного производства.
Создание этих технологий стало возможным в МГТУ им Н.Э. Баумана благодаря новейшемуотечественному комплексу для лазерной наплавки и выращивания деталей, разработанному коллективом «Московского центра лазерных технологий». Этот комплекс использует в качестве лазерного источника иттербиевый волоконный лазер мощностью 3 кВт.
Были рассмотрены две работы в которых представлены технологии изготовления композиционных материалов Al-Siи Ni-Fe-Cu.
Благодаря данным полученным в этих работах и лазерному комплексу «Прототип», представляется возможным разработать собственную технологию лазерной наплавки из композиционных материалов на основе Al-Siи Ni-Fe-Cu.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО НАКЛЕПА НА УПРОЧНЕНИЕ ЛОПАТОК ГТД

Анна Владимировна Бурак, Анастасия Руслановна Нигай

Студенты 5 курса
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д. М. Мельников, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

С начала использования ГТД специалисты столкнулись с проблемой усталостной прочности лопаток компрессора. Существуют различные подходы к решению проблем с усталостной прочностью материалов, работающих в сложных условиях. В частности, в настоящее время ведущими авиадвигателестроительными предприятиями широко развивается и применяется технология лазерного наклепа(ЛН).
Процесс ЛН представляет собой холодный механический процесс, показанный на схеме(рис.1.).

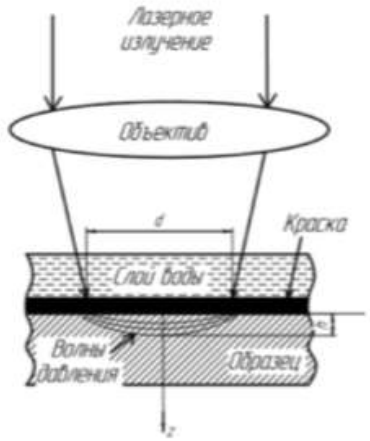


Рис.1.

Изделие покрывается слоем поглощающего покрытия, как правило, это черная краска. Также необходимо наличие сдерживающего слоя в качестве которого применяется вода. Лазерное излучение за счет высокой интенсивности ведет к абляции поглощающего покрытия, в следствие чего возникает плазменный факел. Развитие плазменного факела сдерживается с помощью воды, что ведет к эффективной передачи энергии плазменного факела вглубь изделия. Таким образом создается ударная волна.

Так как нужно обработать большую поверхность, была разработана схема перекрытий лучей, которая выбиралась из следующих соображений: вся поверхность должна быть обработана и при этом нужно учитывать распределение эффективности по пучку, таким образом, чтобы на всей поверхности создавались достаточные остаточные напряжения.
В результате данной работы был смоделирован расчет режимов лазера для поверхностного упрочнения методом лазерного наклепа на основе ударной и пластической деформации. Смоделирована и сопоставлена с известными экспериментальными данными динамика образования усталостных напряжений по глубине и влияние сжимающих напряжений на усталость.

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение технологии ЛН ы противовес дробеструйной обработке ведет к существенному повышению сопротивления усталостному разрушению лопаток ГТД.

Литература

Ding, K.; Ye, L. Simulation of multiple laser shock peening of a 35CD4 steel alloy. J. Mater. Process. Technol. 2006, 178, 162–169.
Fairand, B.P.; Clauer, A.H. Laser generation of high-amplitude stress waves in materials. J. Appl. Phys. 1979, 50, 1497–1502.
Белоусов Г.Г. Некоторые результаты исследования сопротивления усталости лопаток компрессоров при колебаниях по высокочастотным формам «Тезисы доклада Международного симпозиума «Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения» 25-28 сентября 1984 г. Из-во «Наукова думка» Академия наук УССР. Институт проблем прочности. К; с. 24-25.
Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук «Повышение сопротивления усталости лопаток компрессора газотурбинных двигателей на основе улучшения поверхностного слоя» Дубин А. И. УГАТУ 01.02.06

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ИЗ СТАЛИ 9ХС ИЗЛУЧЕНИЕМ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

Вера Вячеславовна Ильина

Студентка 4курса, специалитет
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.А. Смирнова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В современной промышленности становится все более острой проблема повышения срока службы быстро изнашивающихся деталей машин и инструментов, например, в процессе эксплуатации подвергаются износу рабочие поверхности машинного штампа.
С целью повышения износостойкости поверхности крупногабаритных деталей, работающих в условиях повышенных нагрузок и трения,их подвергаютлазерному термоупрочнению.
Упрочнять поверхности стальных деталей возможно с использованием излучения CO_2 лазера, твердотельного и волоконного лазера. КПД волоконного лазера выше, чем CO_2 и твердотельного лазера в 2 раза. С использованием излучения волоконного лазера не надо применять поглощающее покрытие. Это снижает стоимость процесса и делает процесс экологически чистым.
Упрочнение образцов проводилось в следующем диапазоне режимов: мощность изменялась от 1,5 до 2,5 кВт; скорость от 10мм/с до 35мм/с.
В работе были проведены исследования глубины упрочнения, твердости на поверхности, распределения микротвердости по глубине и микроструктуры зоны лазерного воздействия. Металлографические исследования выполнялись на оптическом микроскопе.Микротвердостьизмерялась на микротвердомере при нагрузке 200г.
Для исследования были изготовлены образцы по стандартной методике и протравлены 4% азотной кислотой.

На рис.1 представлена зависимость глубины упрочнения от мощности излучения волоконного лазера при скорости обработки 10мм/с. При увеличении мощности увеличивается глубина упрочнения.

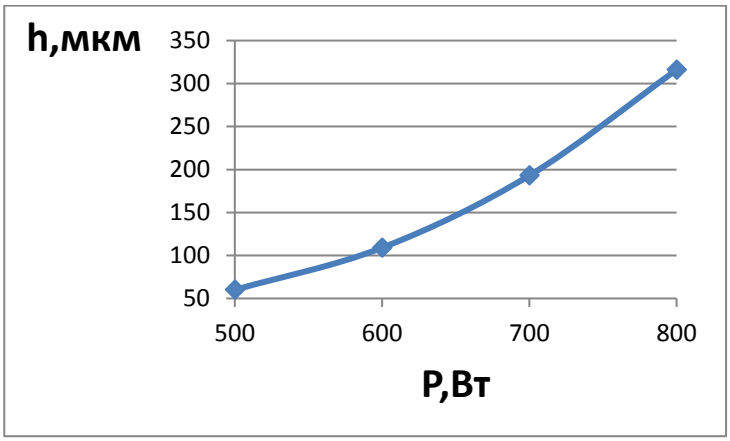


Рис.1. Зависимость глубины упрочнения от мощности излучения.

На рис.2 представлено распределение микротвердости по глубине зоны лазерного воздействия (ЗЛВ) со скоростью обработки 10 мм/спри различной мощности излучения волоконного лазера: 1-800 Вт; 2-700 Вт; 3-600 Вт.Как видно из графиков, при увеличении мощности снижение твердости по глубине происходит медленее. Однако при дальнейшем увеличении мощности наблюдается частичное переплавление поверхностного слоя, что ограничивает её дальнейший рост.

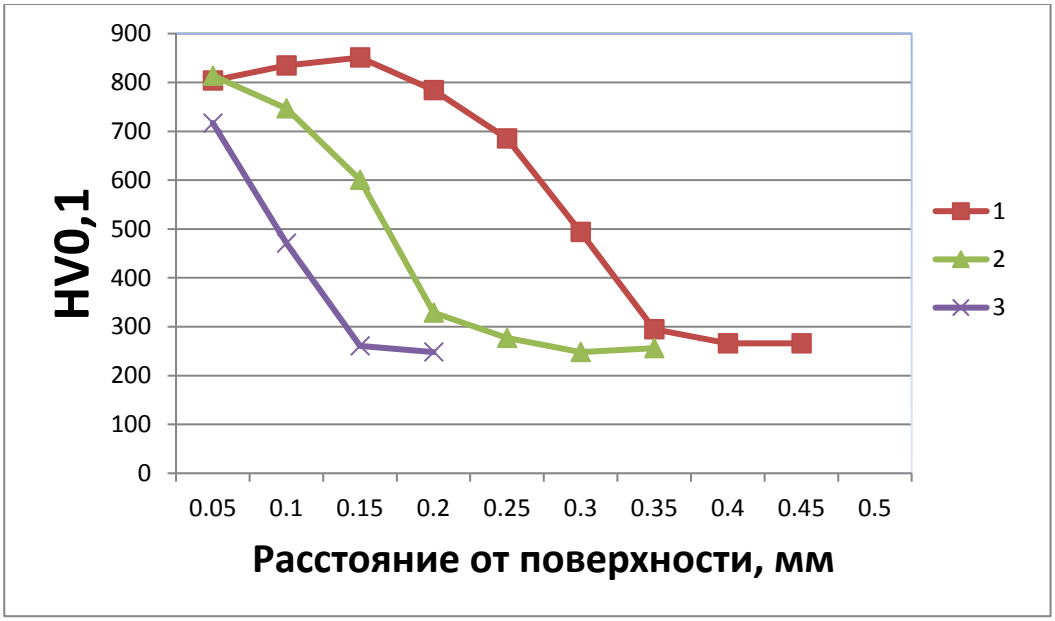


Рис.2. Распределение микротвердости по глубине зоны лазерного воздействия (ЗЛВ)

В работе установлены параметры зоны лазерного воздействия, полученные при воздействии излучения волоконного лазера на поверхность стали9ХС. Определены значения твердости упрочненного слоя, а также зависимости микротвердости от его глубины. На основании анализа зависимости размеров и микротвердости упрочненного слоя от параметров лазерной термической обработки даны практические рекомендации по выбору рациональных режимов обработки излучением волоконного лазера инструмента из стали 9ХС.

Литература
Костромин С.В. Закономерности формирования и изменения свойств поверхностных слоев сталей при лазерной термической обработке: Авторефдис.канд. техн. наук. Нижний Новгород, 1997. — 16 с.
Коваленко В.С.,Головко Л.В., Черненко В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. - Киев: Техника,1990. -191с

УДК 621.373.826

ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ

Константин Игоревич Макаренко

Студент 6 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Третьяков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В настоящее время в развитых мировых странах имеет место тенденция перехода от использования истощимых источников энергии к возобновляемым и неистощимым. Там, где это возможно, электрическая энергия заменяется энергией текущей воды, ветра, солнца; вместо тепловых электростанций, работающих на природном газе и каменном угле, всё более активно начинают применяться солнечные батареи.Одним из важнейших преимуществ солнечной энергии перед аналогами является высокий показатель её экологической безопасности - весь процесс получения и применения энергии не наносит никакого вреда окружающей среде.
Из всех составляющих солнечного излучения наибольшей энергетикой обладаетизлучение ближнего ИК-диапазона, видимое и ультрафиолетовое. Именно эти три типа излучения вносят ощутимый вклад в протекание энергоёмких процессов на Земле и являются основными источниками энергии для солнечных батарей и элементов, с помощью которых может осуществляться накачка лазерных генераторов.
На рис. 1 представлена схема эксперимента по накачке оптического волокна солнечным излучением [1]. Солнечное излучение, отражаясь от параболического зеркала 1 и фокусируясь в пятно малого диаметра, осуществляет накачку в торец волоконного световода с двойной оболочкой 2. Лазерное излучение, выходя из световода, проходит через оптическую систему, состоящую из двух собирающих линз 3 и отсекающего короткие волны фильтра 4, после чего попадает в многомодовое оптическое волокно 5. После выхода из волокна часть излучения (при помощи ответвителя) направляется на спектрометр 6, а часть - на ваттметр 7.

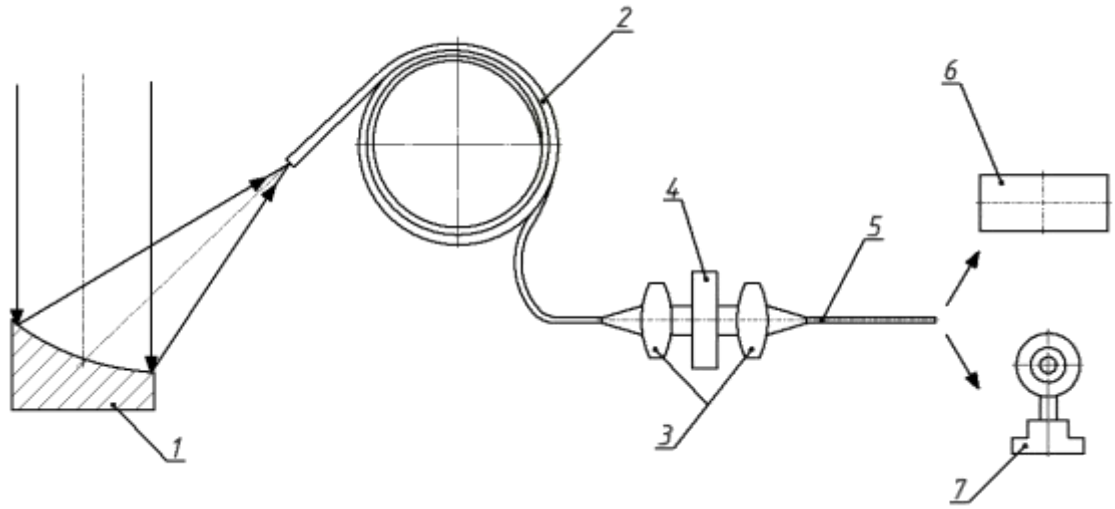


Рис. 1. Схема эксперимента.

Накачка волоконного световода солнечным излучениемможет быть осуществлена различными способами. Наиболее простым из них является торцевая накачка (рис. 2). Сконцентрированное солнечное излучение от гелиоконцентратора 1 фокусируется линзой 2 и попадает в сердцевину5 волоконного световода через торец его оболочки изоптического кварцевого волокна 4, находящейся взащитной оболочке 3. Обратная связь осуществляется за счёт резонатора, состоящего из глухого для длины волны лазерного излучения и прозрачного для всего спектра излучения накачки зеркала 6 и полупрозрачного зеркала 7, выполненных в виде брэгговских дифракционных решёток.

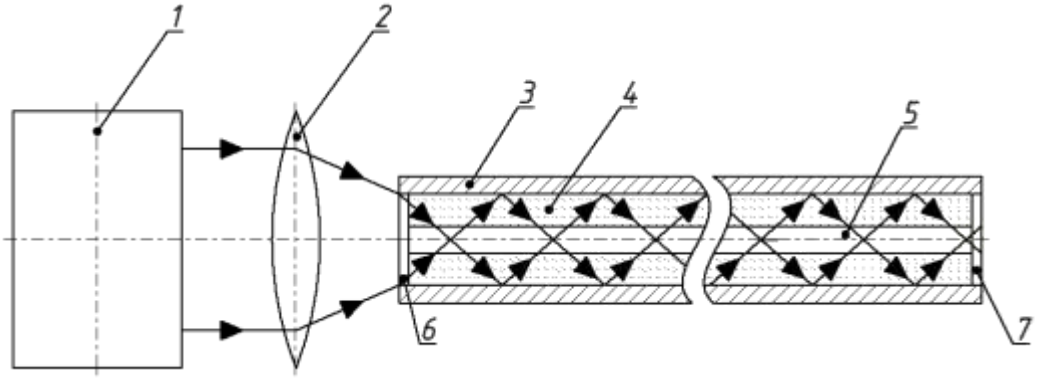


Рис. 2. Схема торцевой накачки волоконного световода солнечным излучением.

На рис. 3 представлен примерный вид волоконного лазерного генератора с солнечной накачкой. Линза Френеля 1 диаметром от 1 до 2 [м] устанавливается в двухкоординатное устройство автоматического слежения за положением Солнца 2. Излучение, попадая на вторичный гелиоконцентратор 3, фокусируется, вводится в волоконный световод, находящийся в активном модуле 4, и по волокну 5 передается на головку 6, закреплённую на вспомогательной стойке 7. Вторичный гелиоконцентратор и активный модуль 4 нуждаются в интенсивном жидкостном охлаждении (система охлаждения на чертеже не показана).

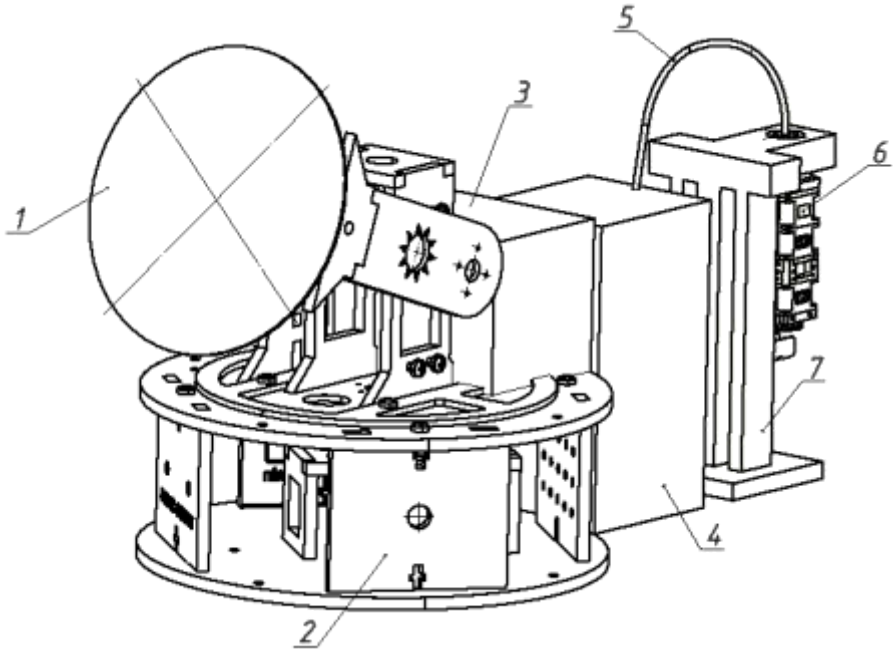


Рис. 3. Примерный вид основных узлов волоконного лазерного генератора с солнечной накачкой.

Литература.

1. *Mizuno S., Ito H., Hasegawa K., Suzuki T., Ohishi Y.*Laser emission from a solar-pumped fiber. OSA, 2012.

2. *Dinh T.H., Ohkubo T, Yabe T.* Development of solar concentrators for high-power solar-pumped lasers. Tokyo Institute of Technology, Japan, 2014.

3. *ЗалесскийВ.Ю.*Йодныйлазерссолнечнойнакачкой // Квантоваяэлектроника, 1983.№ 6.

4. *ГудзенкоЛ.И., ГордиецБ.Ф., ПанченкоВ.Я.*Газовыйлазерссолнечнымвозбуждением // ТрудыФИАН, 1980, №120: Кинетическиемоделивлазернойфизикеитеорииколебаний. С. 90-100.

5. *Цидулко И.М.* Полупроводниковый лазер с солнечной накачкой // Квантовая электроника, 1992.№ 5.

6. *Quarterman A.H., Wilcox K.G.*Design of a solar-pumped semiconductor laser. School of Engineering, Physics and Mathematics, University of Dundee, UK, 2015.

7. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. V. Атомная и ядерная физика. — 2-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002. - 784 с.

8. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 792 с.

9. Электростекло. Оптика, кристаллы, лазеры. Режим доступа: http://www.elektrosteklo.ru/Al_rus.htm (дата обращения 07.03.2017).

УДК 53.084.823

ОБЗОР ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПРЕДСАТВЛЕННОГО НА ВЫСТАВКЕ «ФОТОНИКА 2017»

Руслан Рамилевич Нагимов

Студент 4курса, специалитет,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В. Голубенко
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

12-я международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники отражает современное развитие лазерного оборудования. Будучи студентом Московского Государственного Технического Университета кафедры МТ12 «Лазерные технологии в машиностроении», мне было интересно посетить данное мероприятие, на котором около 150 зарубежных и отечественных компаний продемонстрировали свои современные разработки.

Компания «Лазерный центр» является ведущим в России разработчиком и производителем систем лазерной маркировки, гравировки и микрообработки на основе волоконных лазеров IPG–Photonics. Основные цели: производство лазерного оборудования, поставка лазерных граверов и станков для лазерной резки «Trotec», поставка материалов для гравировки и резки, услуги по лазерной обработке. На выставке «Лазерный центр» представил систему прецизионной лазерной резки «RX – 50/150». Основное отличие систем «RX-50» и «RX-150» - это толщина обрабатываемого материала, в случае «RX-50» для металла она находится в диапазоне 50 мкм – 500 мкм, а для «RX-150» 50 мкм – 1000 мкм. Причиной тому является большая максимальная выходная мощность лазера, для «RX-50» равна 50 Вт, для «RX-150» - 150 Вт. В обеих системах используется иттербиевый импульсный волоконный лазер, с длиной волны лазерного излучения 1,05 мкм–1,07 мкм. Они нашли широкое применение в приборостроении и медицине.

Компания «LaserFor» зарекомендовала себя как поставщик надежного лазерного оборудования для лазерной маркировки и гравировки.На сегодняшний день, компания работает с тремя типами лазеров. Это волоконные, газовые лазеры, а также лазерные установки, способные осуществлять полноценное цветное нанесение на металле и других материалах. Наибольший интерес у посетителей вызвал напольный лазерный гравер по металлу «LaserForPB-V1». Тип лазерного излучателя – иттербиевый импульсный волоконный, с длиной волны 1,064 мкм и максимальная выходная мощность 30 Вт. Основное применение гравера: маркировка промышленных изделий в автомобильной, космической, ювелирной и других отраслях.

Компания ОКБ «БУЛАТ» является одним из ведущих россиийских предприятий по производству лазерного оборудования. Специалистами ОКБ «БУЛАТ» разработан и выпущен в серийное производство ряд моделей технологических установок для импульсной лазерной сварки, наплавки и резки металла серии LRSи HTS. Компания представила трехкоординатную систему лазерной сварки и наплавки «LRSPRO». Основной особенностью является возможность позиционирования с тремя управляемыми осями. Основные характеристики модели «LRS 150 PRO»: максимальная средняя мощность составляет 150 Вт, длина волны 1,064 мкм (YAG:Nd^{3+}), режим работы лазера – импульсно периодический. Установка подходит для применения в области медицинсиких технологий, точного машиностроения, электронной и приборостроительной промышленности.

Посетив данную выставку, я пришел к выводу, что лазерное технологическое оборудование находит все большее применение не только в промышленном секторе, но и в медицине, и в

ювелирной отрасли. Это большой шаг в технологии обработки материалов при помощи лазера. Ждем следующей выставки.

Литература

1. Фотоника. Мир лазеров и оптики-2018. Режим доступа: *http://www.photonics-expo.ru/ru/history/2017/events/*
2. Лазерный центр. Режим доступа: http://www.newlaser.ru/about/
3. LaserFor. Режим доступа: http://laserfor.ru/ru/pb-v1/
4. ОКБ БУЛАТ. Режим доступа: http://www.laser-bulat.ru

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

Анастасия Руслановна Нигай, Дмитрий Станиславович Ощепков

Студенты 5 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Я. Ставертий,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Введение

На данный момент происходит стремительное развитие техники, которое приводит к необходимости применения материалов со все более высокими характеристиками. Одной из таких характеристик является износостойкость.

Сейчас существует множество способов повышения износостойкости деталей. Самым простым способом является непосредственное изготовление детали из материала, обладающего данными свойствами. Но этот способ имеет один большой недостаток – высокая стоимость материала, обладающего высокими характеристиками. Поэтому самым распространенным методом является изменение свойств рабочих поверхностей деталей. Лазерная наплавка является наиболее перспективным способом с точки зрения наивысших характеристик наплавляемого слоя и качества. Лазерный источник обеспечивает минимальную пористость слоя, максимальную прочность покрытия, минимальную перемешиваемость, образование ультрадисперсной структуры и минимальную ЗТВ.

В данной статье была исследована лазерная порошковая наплавка композиционного покрытия состоящего из NiCrBSi и WCна подложку из Inconel 625. В работе была установлена взаимосвязь режимов лазерной наплавки с параметрами качества износостойкого покрытия. Были проанализированы пористость, структура и микротвердость полученного слоя.

Методика проведения исследований

Для проведения эксперимента было использовано следующее оборудование: иттербиевый волоконный лазер ЛС-4, порошковый питатель GTV, наплавочная головка PrecitecYC-50, совмещающая в себе функцию фокусировки лазерного излучения на
поверхности детали с коаксиальной подачей порошка в зону обработки, и смеситель
порошков «Турбула С2.0».

Образцы подготавливались на металлографическом оборудовании фирмы Struers. На отрезном станке Discotom-5 образцы были отрезаны в поперечном сечении

валиков, запрессованы в термоактивную смолу в автоматическом прессе Citopress-20 и отполированы на шлифовально-полировальном станке Tegramin-20.

На подложку из Ст3 толщиной 10 мм наносился слой Inconel 625 (таблица 1), далее на него наносилось композиционное покрытие NiCrBSi(таблица 2) с WC (таблица 3). Оно представляет собой прочную и коррозионностойкую матрицу из NiCrBSi и твердые, износостойкие и жаропрочные армирующие частицы WC. Соотношение масс этих материалов составляла 5 к 3 соответственно

Таблица 1. Химический состав Inconel 625, %

Ni	C	Si	B	Fe	Cr	Mo	Nb
Основа	0.03	0.40	–	1.4	21.5	9.0	3.8

Таблица 2. Химический состав NiBSi, %

Ni	C	Si	B	Fe	Cr	Mo	Nb
Основа	0.06	3.0	2.9	0.2	–	–	–

Таблица 3. Химический состав WC, %

W	C
Основа	6.1

Покрытия были получены на режимах, показанных в таблице 4.Качественные покрытия с наименьшими порообразованием и трещинообразованием были получены на режимах 1 и 5 (рис.1 и рис.2 соответственно).

Таблица 4. Режимы наплавки

Номер режима	Мощность, Вт	Скорость, мм/с	Диаметр пятна, мм
1	2000	4,3	2,5
2	2000	4,3	2,5
3	1400	4,3	2,5
4	2000	4,3	2,5
5	1400	4,3	2,5

Рис.1. Валик, полученный на режиме 1

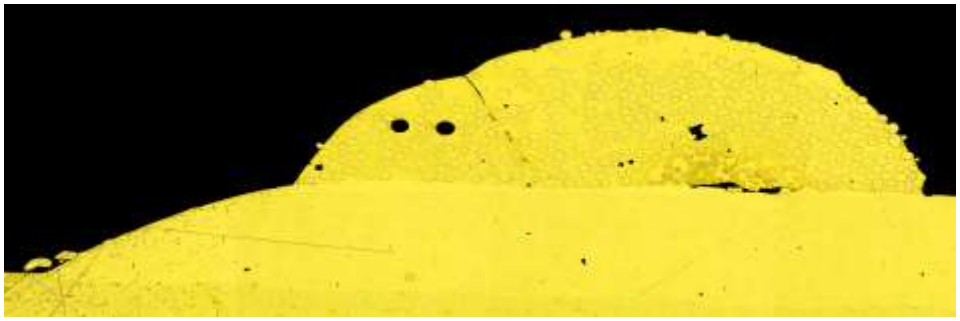


Рис.2. Валики, полученные на режиме 5

УДК 621.373.826

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИИ W-CU

Дмитрий Станиславович Ощепков, Анастасия Руслановна Нигай

Студенты 5 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.Н Шиганов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Традиционно применяемые металлические и неметаллические материалы в значительной мере достигли своего предела конструктивной прочности. Вместе с тем развитие современной техники требует создания материалов, надежно работающих в сложных условиях, а зачастую и их комбинации. Удовлетворить эти требования можно путем использования композиционных материалов.

Одним из таких материалов является вольфрамо-медный композит, который сейчас очень востребован в областях начиная с электротехнической промышленности и заканчивая авиацией и космосом. Данная система материалов совмещает в себе огнеупорную W-фазу, которая придает материалу высокую прочность и низкий коэффициент теплового расширения, и Cu-фазу, обеспечивающую композиту высокую электро и теплопроводность.

Однако при применении классических методов получения деталей из этой композиции, возникают различные проблемы, одни из которых связаны с получением деталей сложной конфигурации и дороговизной процесса. Решением данных проблем являются аддитивные технологии. Данная статья как раз и описывает технологию альтернативного получения деталей из W-Cu, а именно метод прямого лазерного спекания.

Прямое лазерное спекание металлов (DMLS) – технология аддитивного производства металлических изделий, представляющая собой послойное нанесение порошка с последующим послойным его расплавлением . В данном методе применяют 3Dмодели деталей, разбитые на тонкие слои, по которым и происходит сканирования луча. Известным аналогом является SLS.

В статье были подробно описаны все этапы подготовки порошков W-Cu и параметры их обработки лазерным лучем. Кроме того, были показаны все возможные режимы спекания порошка и получаемая при этом структура и характеристики получаемого материала.

На данный момент эта технология реализуема на базе МГТУ им. Н.Э.Баумана и предприятия «Московский центр лазерных технологий». Новейший высокоточный лазерный комплекс СЛП110 мощностью 100Вт, построенный в«МЦЛТ», позволяет осуществить выращивание деталей данным способом.

Немаловажен тот факт, что в России на настоящее время не существует подобной технологии. Данная же работа и лазерный комплекс предприятия «МЦЛТ» позволят в дальнейшем разработать собственный метод выращивания деталей из композиции W-Cu.

Литература

1. СпецМеталлМастер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://specmetal.ru/tugoplavkie-metally/volfram/volframo-mednye-splavy - Вольфрамо-медные сплавы - (Дата обращения: 19.01.2017).
2. A. K. Bhalla and J. D. Williams. A comparative assessment of explosive and other methods of compaction in the production of tungsten-copper composites.// Powder Metallurgy, 1976. Vol. 1. P. 31-37.
3. Maneshian MH, Simchi A, Hesabi ZR (2007) Structural changes during synthesizing of nanostructured W–20 wt.% Cu composite powder by mechanical alloying. Mater Sci Eng A 445–446:86–93
4. da Costa FA, da Silva AGP, Gomes UU (2003) The influence of the dispersion technique on the characteristics of the W–Cu powders and on the sintering behavior. Powder Technol134(1–2):123–132
5. Gu D. Laser Additive Manufacturing of High Performance Materials.
6. Патент №2451110. РФ. Способ нанесения на контактные поверхности электроэрозионно-стойких вольфрамо-медных композиционных покрытий с наполненной структурой [Текст] / Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. - №2011103427/02; заяв. 31.01.2011; опуб. 20.05.2012, Бюл. №14.
7. German RM, Hens KF, Johnson JL (1994) Powder metallurgy processing of thermal management materials for microelectronic applications. Int J Powder Metall 30(2):205–215
8. Johnson JL, Brezovsky JJ, German RM (2005) Effect of liquid content on distortion and rearrangement densification of liquid-phase-sintered W–Cu. MetallMaterTransA 36A(6):1557–1565

УДК 621.375.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Светлана ЛеонидовнаПономаренко [(1)], Андрей БорисовичСадков [(2)], Дмитрий Андреевич Форостяный [(2)]

Студентка 3 курса [(1)], студент 5 курса [(2)], студент 5 курса [(2)]
кафедра «Лазерные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В.Богданов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии»

Введение

Импульсная лазерная абляция твердых мишеней в жидкости, газе или вакууме является наиболее приоритетным способом получения наночастиц с помощью лазерного излучения.

Параметры лазерного излучения влияют на плотность, толщину и однородность получаемых пленок (форму, размер, состав и структуру наночастиц). Используя различные материалы и газы, можно получить большой набор тонких пленок на подложках.

По сравнению с остальными методами, метод лазерной абляции имеет такие преимущества, как получение беспримесных конечных продуктов; возможность формирования метастабильных фаз в условиях высокого давления плазменного факела в области воздействия лазерного излучения;возможность конгруэнтного испарения многокомпонентных мишеней; агрегация в кластеры различного размера, заряда и кинетической энергии (10 — 500 эВ),

позволяющая селектировать и упорядочивать их с помощью электрического поля для получения определённой структуры осаждаемой плёнки.

1. Техника эксперимента

Исследования проводились на лазерном комплексе, созданном в МГТУ им.Н.Э.Баумана на кафедре «Лазерные технологии в машиностроении». Основой комплекса является лазерная твердотельная импульсная система LQ829, произведенная фирмой SolarLS.

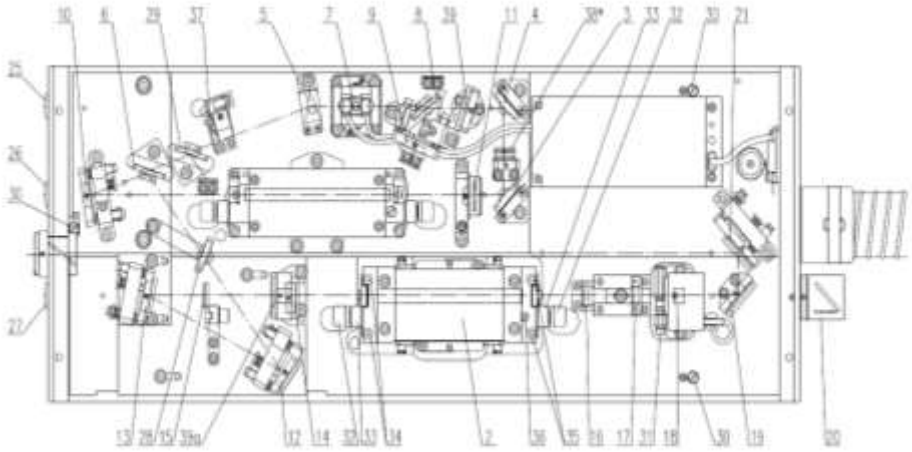


Рисунок 1. 1.1, 2.1 - стержни Nd:YAG; 1.2, 2.2 - лампы накачки; 1.3, 2.3 - отражатели; 1.4, 2.4 - УФ фильтры; 3, 4, 10, 12, 13 - поворотные зеркала; 5 - призма; 6, 8 - поляризаторы; 7 - ячейка Поккельса; 9 - возвратное зеркало; 11 - фазовая пластина; 14 -фазовращатель; 15, 38* - диафрагмы; 16, 17 - линзы телескопа; 18 - кристалл KTP; 19, 21 - сепараторы генератора второй гармоники; 20 - ловушка излучения; 22, 23, 29 - стеклянные пластины; 24 - защитное окно; 28 - технологическое зеркало.

2.Результаты

2.1. Получение наночастиц латуни

В первом эксперименте для изучения абляции использовалась вторая гармоника Nd:YAG-лазера с длиной волны 532 нм. Частота следования импульсов составляла 10 Гц. Длительность импульса - 10 нс. Энергия импульса – 0,05 Дж. Фокусное расстояние 100 мм.

На поверхность мишени направлялось расфокусированное излучение, диаметр пятна составлял 460 мкм**.**В качестве жидкой среды использовались: дистиллированная вода, этанол, объемом 100 мл. Количество импульсов в каждой точке мишени задавалось в интервале от 1 до 3500. Перемещение мишени после завершения импульсного воздействия осуществлялось при помощи двух координатной системы перемещения. Схема обработки представляла собой испарение определенного объема материала в воду, впоследствии отводимого потоком на мишень.

При воздействии лазерного излучения на латунную мишень были получены коллоидные растворы желтого оттенка в дистиллированной воде и бурого оттенка в этаноле. С течением времени наночастицы начали коагулировать и оседать на дне пробирки в виде гелеобразной субстанции, называемой золь гелем. Вдобавок, в этаноле часть коагулировавших частиц осталась во взвешенном состоянии. При изменении внешних условий начинается интенсивное образование контактов между частицами и образование монолитного геля. В монолитном геле молекулы растворителя заключены в гибкую, образованную частицами гидроксидов, довольно устойчивую трехмерную сетку.

Во время опыта было выяснено, что при механическом воздействии (перемешивании) распадается гибкая связь в коллоидном растворе и происходит растворение геля. Однако с течением некоторого времени, связи в коллоидной системе возобновляются.

2.2. Получение наночастиц меди

Абляция медной мишени в этаноле и ацетоне излучением как видимого, так и ИК лазерных источников приводит к окрашиванию жидкости в красноватый цвет. Этой окраске соответствуют пик поглощения вблизи 590 нм и широкая полоса поглощения в синей области.

В то время как спектр воды, в которой производилась абляция медной мишени, не имеет пика вблизи 590 нм, а наблюдается широкая полоса поглощения между 600 и 700 нм. Эта полоса поглощения характерна для акваиона одновалентной меди, так же, как и для водного раствора CuCl. Таким образом, было выяснено, что медь реагирует с водой, образуя соединения одновалентной меди, а процесс лазерной абляции не происходит.

Спектры жидкостей, в которых абляция меди проводилась Nd:YAG-лазером, аналогичны, однако идентификация соединений, образующихся в процессе лазерной абляции в этаноле, по спектрам поглощения является затруднительной и требует отдельных исследований, например с помощью хроматографии.

Наночастицы меди в этаноле малоконтрастные и, вероятно, состоят в основном из оксида меди. Их средний размер составляет 5-10 нм. Напротив, наночастицы в ацетоне имеют высокий контраст и окружены некоторым диффузным облаком, которое, как показывает спектроскопия комбинационного рассеяния, состоит из стеклоуглерода.

2.3. Исследование размеров наночастиц латуни и меди

Размеры наночастиц латуни и меди исследовались на Nd:YAG-лазере с параметрами: длина волны 1.06 мкм, длительность импульса 130 нс. Частота повторения импульсов от 1000 до 5000 Гц. Излучение фокусировалось на поверхность металлической мишени в пятно диаметром 60 либо 90 мкм, а плотность энергии на мишени составляла 200 - 500 Дж/см2, в зависимости от выбранной линзы.

В качестве жидкостей, в которых осуществлялась абляция мишеней, применялись дистиллированная вода, этанол (95%) и ацетон (ОСЧ). Спектры коллоидных растворов, регистрировались с помощью волоконно-оптического спектрометра в диапазоне длин волн 200-850 нм. Рентгеновские дифрактограммы наночастиц записывались после выпаривания коллоидного раствора на стеклянной подложке. Идентификация кристаллографических фаз производилась на основе базы данных JCPDS-ICDD. Морфология наночастиц исследовалась с помощью просвечивающего электронного микроскопа с энергией электронов 100 кэВ. С этой целью коллоидный раствор разбавлялся этанолом до нужной концентрации наночастиц и высушивался на медной сетке, покрытой углеродной мембраной. В ряде случаев состав наночастиц исследовался с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света (длина волны возбуждения 514 нм).

Было выяснено, что пики спектров поглощения коллоидного раствора наночастиц латуни, полученных абляцией латунной мишени излучением лазера Nd:YAG в этаноле и ацетоне вблизи 515 и 564 нм соответственно.

В случае абляции латунной мишени в воде пик плазмонного резонанса наблюдается, хотя и слабо выражен. Максимум пика плазмонного резонанса лежит около 560 нм при инициировании абляции излучением Nd:YAG-лазера. Для абляции латунной мишени в воде имеет место химическое взаимодействие воды с материалом мишени при высокой температуре, и раствор кроме наночастиц содержит оксид меди Cu_2O и гидроксид цинка $Zn(OH)_2$. Пик $Zn(OH)_2$ практически совпадает с пиком оксида цинка ZnO, поэтому дифрактограмма не позволяет судить об отношении концентраций этих соединений. В пользу наличия ZnO свидетельствует пик поглощения в районе 360 нм, соответствующий ширине запрещенной зоны ZnO.

Так же было выяснено, что при абляции в воде, а так же этаноле имеется заметная доля частиц латуни, однако с несколько различными относительными интенсивностями. Положение максимума пика дифракции наночастиц соответствует положению максимума пика дифракции исходной латуни. Таким образом, можно заключить, что образующиеся в результате абляции латунной мишени наночастицы являются наночастицами латуни.

При абляции латунной мишени в этаноле образуются наночастицы с замкнутой оболочкой. Ее изображение менее контрастно, чем ядро, а толщина соразмерна ядру.

Наблюдение плазмонного резонанса при абляции латунной мишени в воде косвенно подтверждает то, что наночастицы являются оболочечными структурами. В отличие от наночастиц, полученных в этаноле и ацетоне, эти оболочки могут состоять из продуктов химической реакции цинка с водой, например $Zn(OH)_2$.

В целом спектры коллоидных растворов, полученных абляцией в жидкостях обоих металлов, зависят скорее от природы жидкости, нежели от длины волны лазерного излучения. Это указывает о несущественности фотохимических процессов, которые могли бы давать вклад в образование наночастиц, например в результате генерации электронно-дырочных пар в оксиде меди Cu_2O квантом лазера на парах меди.

Положение плазмонного резонанса наночастиц латуни (около 515 нм). Пик находится между плазмонными резонансами меди и цинка.

Заключение

Научно-исследовательский комплекс, созданный на базе импульсного Nd:YAG-лазера LQ829B фирмы СолярЛС, подходит для проведения научно-исследовательских работ по получению наночастиц методом лазерной абляции. Плотность мощности на поверхности мишени достигает такого значения, что позволяет испарять материал без наличия жидкой фазы. Выяснено, что спектры коллоидных растворов сильнее зависят от природы жидкости, чем от длины волны лазерного излучения. Выделены особенности процесса образования наночастиц меди и латуни.

Литература

1. Лазерный научно-исследовательский и учебный комплекс на базе лазера фирмы СолярЛС/ *Богданов А. В., Голубенко Ю. В., Тимошенко В. А., Гулевич А. Е., Кондратюк Н. В.* М.: Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2015 - № 12. - С. 17-21

2.Импульсная лазерная абляция в жидкости фемто- и нано-секундными источниками. Особенности процесса / *Голубенко Ю. В., Сидоровнина Т. Ю., Тимошенко В. А., Савкин А. Н.* М.: наука и инновации. - 2015 - № 10(46)

3. Образование наночастиц меди и латуни при лазерной абляции в жидкости / *П.В.Казакевич, В.В.Воронов, А.В.Симакин, Г.А.Шафеев*. М.: Квантовая электроника. – 2004 - 34, № 10

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРФОРАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СОВМЕСТНО СПЕКАЕМОЙ КЕРАМИКИ НА ЛАЗЕРЕ LRS-150

Андрей Борисович Садков *(1)*, ***Дмитрий Андреевич Форостяный*** *(1)*, ***Светлана Леонидовна Пономаренко*** *(2)*

Студент 5 курса(1), студентка 3 курса(2)
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В.Голубенко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Введение

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) широко используется в различных отраслях промышленности. Данная технология представляет большой интерес со стороны производителей высокочастотной техники, оптоэлектроники и микроэлектромеханических систем. Новые возможности для LTCC открываются в таких

направлениях как телекоммуникации, медицина, автомобильная, военная и космическая техника.

На сегодняшний день наиболее широко используется технология формирования отверстий в листе LTCC с помощью сверл, матриц и пуансонов, но данные технологии имеют ряд недостатков: износ инструмента (матриц, пуансон), замятие листов при обработке, изменение геометрических размеров вследствие износа. Данные недостатки отсутствуют при обработке лазерным излучением (отсутствует инструмент), что делает актуальным применение лазера в данной сфере.

Описание существующей технологии изготовления изделия и возможное место лазерных технологий в ней

Процесс производства изделия изображен на рисунке 1.

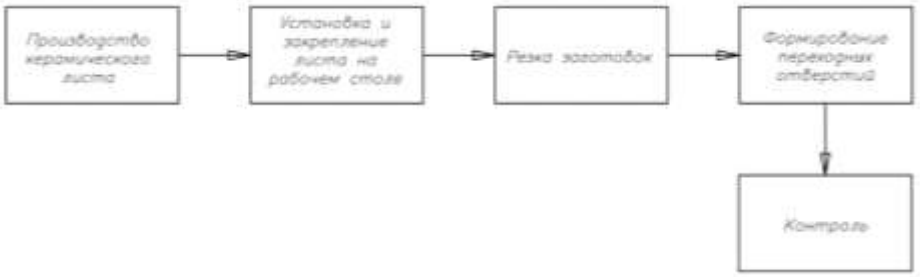


Рис.1. Существующая технология изготовления изделия

Данный процесс начинается с создания керамической суспензии путём смешивания керамического порошка, органических связующих, растворителей и модифицирующих добавок. Из суспензии впоследствии формируется керамическая лента. Лента нарезается на листы необходимых размеров и в листе вырезаются окна. Затем формируются переходные отверстия. В данной работе принято решение выполнить формирование переходных отверстий с помощью лазерного оборудования.

Расчет режимов лазерной обработки

Расчет режимов производится на основе уравнения теплового баланса. Для обработки данной

детали требуется плотность мощности выше q3.Уравнение баланса энергии(уравнение Свифта-Хука-Джика):

$$W\eta = \rho V\left(c_1(T_{пл} - T_0) + L_{пл}\right) + \rho V\left(c_2(T_{исп} - T_{пл}) + L_u\right), (1)$$

гдеW – энергия в импульсе; $V = \delta\pi R^2$ – объем удаляемого материала; R – радиус отверстия; δ – толщина керамического листа; c_1 – удельная теплоемкость ниже температуры плавления; c_2 – удельная теплоемкость выше температуры плавления; ρ – плотность обрабатываемого металла; $L_{пл}$ – удельной теплота плавления; L_u – удельной теплота испарения; $T_{пл}$ – температура плавления; T_u – температура испарения; T_0 – начальная температура (принято 20°С); η – эффективность процесса (принято значение 0,21); $\eta = \eta_Э \cdot \eta_T$, где $\eta_Э$ – эффективный КПД, η_T – термический КПД.

Теплофизические свойства обрабатываемого материала представлены на рисунке 2.

1) Температура плавления Тпл = 2600 °С
2) Температура кипения Ткип = 4297 °С
3) Плотность ρ = 5700 кг/м^3
4) Удельная теплоемкость ниже Тпл c1 = 733 Дж/кг·°С
5) Удельная теплоемкость выше Тпл c2 = 1273 Дж/кг·°С
6) Удельная теплота плавления Lпл =730·10^3 Дж/кг
7) Удельная теплота испарения Lu = 5220·10^3 Дж/кг
8) Коэффициент теплопроводности λ_T = 1,6 Вт/м·°С
9) Коэффициент температуропроводности a=2,2·10^{-7}м^2/с

Рис.2. Теплофизические свойства обрабатываемого материала

Таблица 1. Изменение энергии импульса

Используя выражение (1), получены значения энергии в импульсе W = 1,7 Дж, мощности в

W,Дж	Диаметр отверстия		Конусность, С
	На входе	На выходе	
2,8	0,257	0,25	0,145
2,41	0,243	0,25	0,215
1,98	0,229	0,186	0,22
1,543	0,214	0,143	0,355
1,194	0,2	0,043	0,785
0,931	Нет сквозного отверстия		
0,632			

импульсеР = 1700 Вт и плотности мощностиq = $5{,}41 \cdot 10^6$ Вт/см^2:

Описание методики проведения экспериментов

Для проведения экспериментов использовалась лазерная установка LRS-150A компании «Булат». Данная установка имеет следующие характеристики, заявленные производителем:
Тип лазера: импульсно-периодический АИГ: Nd^{3+}, λ= 1,06 мкм; Максимальная энергия импульса излучения: 70 Дж; Длительность импульса излучения: 0,2 … 20мс; Максимальная импульсная мощность излучения: 10 кВт; Частота повторения импульсов излучения: до 200 Гц; Максимальная мощность излучения: 150 Вт.

Для измерения энергии импульса использовался пироэлектрический датчик фирмы Ophir с максимально допустимой энергией в импульсе 10 Дж.

Перед проведением эксперимента, был подобран режим, при котором в листе формировалось сквозное отверстие. Далее были проведены эксперименты в три этапа:

Таблица 2. Изменение длительности импульса

При постоянной длительности импульса τ=1 мс и количеством импульсов в одну точку N=1 изменялась энергия импульса W;
При постоянной мощности импульса P=1543 Вт и количеством импульсов в одну точку N=1 изменялась длительность импульса τ;
При постоянной мощности импульса P=564 Вт и длительности импульса τ=0,5 мс изменялось количество импульсов в одну точку N.

Обобщение полученных результатов

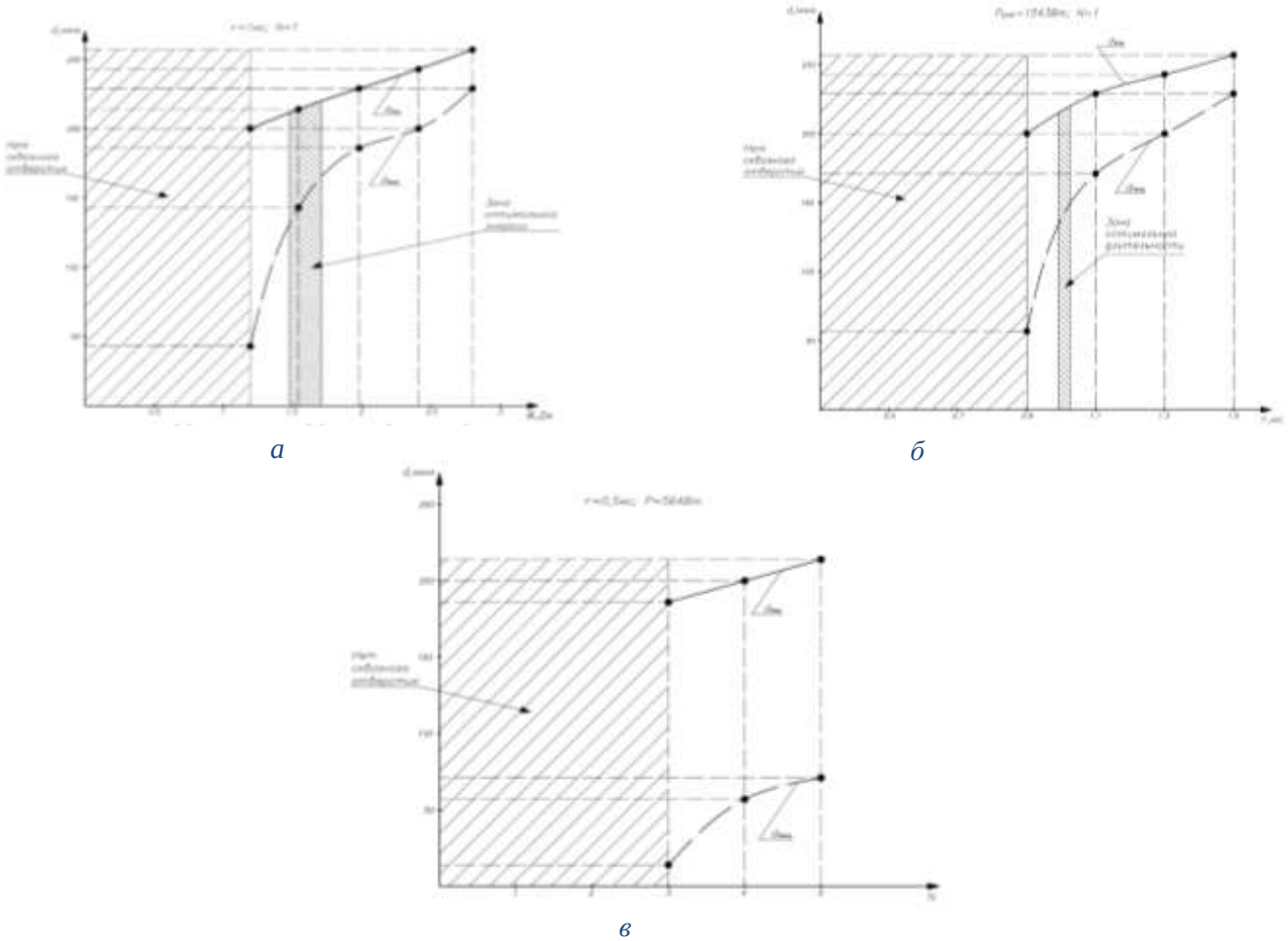
После проведения эксперимента произведены измерения диаметров отверстий на входе и на выходе, а также посчитана конусность. Полученные результаты приведены в таблицах 1-3.

τ,мс	Диаметр отверстия		Конусность, С
	На входе	На выходе	
1,5	0,257	0,229	0,14
1,3	0,243	0,2	0,215
1,1	0,229	0,171	0,29
0,9	0,2	0,057	0,715
0,7	Нет сквозного отверстия		
0,5			

Таблица 3. Изменение количества импульсов

N,шт	Диаметр отверстия		Конусность, С
	На входе	На выходе	
5	0,214	0,071	0,715
4	0,2	0,057	0,715
3	Нет сквозного отверстия		
2			
1			

По результатам измерений построены графики зависимости диаметров входного и выходного отверстия от энергии импульса (рисунок 3а), зависимости диаметров входного и выходного отверстия от длительности импульса (рисунок 3б) и зависимости диаметров входного и выходного отверстия от количества импульсов (рисунок 3в).



а *б*

в

Рис. 3. Графики полученных результатов измерения

На первых двух графиках отмечены зоны оптимальных режимов. На последнем графике не удалось найти оптимальное количество импульсов для достижения требований так как было сделано недостаточно экспериментов.

Заключение

В данной работе была подтверждена возможность применения лазерных технологий в производстве интегральных схем на низкотемпературной керамике, выполнено сравнение существующих методов формирования отверстий с методом лазерной обработки, выполнен расчет режимов лазерной, выполнена экспериментальная проверка расчетов и найдены оптимальные режимы обработки для выбранного лазерного оборудования.

Литература

Кондратюк Р.И. Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC). Преимущества. Технология. Материалы [Текст]/ Р.И. Кондратюк //Информационный бюллетень «Степень интеграции». – 2011. - № 5. – С. 14-17;

Егоров Г.И. Многослойные керамические микросхемы [Текст]/ Г.И. Егоров //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. - № 3. – С. 60-65;

Исследование проблем производства СВЧ-компонентов на основе технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) [Электронный ресурс] / ПАО «Радиофизика». – Режим доступа: http://www.radiofizika.ru/upload/konferentsiya-2015/Лютов%20Сударенко%20РИНЦ.pdf,свободный. (Дата обращения: 15.12.16);

Григорьянц А.Г. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 7. Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов [Текст] / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк., 1988;

Григорьянц А.Г. Лазерная техника и технология**.** В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для вузов [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк., 1988;

Свойства оксидов металлов [Электронный ресурс] / Thermalinfo. – Режим доступа: http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/oksidy/svojstva-oksidov-metallov, свободный. (Дата обращения: 15.12.16);

LRS Automatic[Электронный ресурс] / ОКБ Булат. - Режим доступа: http://www.laser-bulat.ru/products/lasersystems/lrs-automatic/#specs, свободный. (Дата обращения: 15.12.16);

УДК 621.373.826

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Екатерина Михайловна Тюльпанова

Студент 4 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.М. Мельников,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Целью работы является доказательство возможности применения лазерных сенсоров для обнаружения взрывоопасных веществ.

Обнаружение взрывчатых веществ – одна из важнейших задач обеспечения безопасности. Один из современных эффективных методов – поиск паров взрывоопасных веществ с помощью лазерных сенсоров. Сенсоры на основе органических полупроводниковых лазерах обладают

всеми необходимыми параметрами: чувствительность, стабильность, избирательность, обратимость.

Большинство взрывчатых веществ состоит из органических нитрогрупп. Нитрогруппы приводят к недостатку электронов в молекулах этих веществ, и они становятся акцепторами. При контакте молекул-акцепторов с полупроводниковыми полимерами, богатыми электронами, фотовозбуждённые электроны полимера могут перейти с вышей занятой электронами молекулярной орбитали полимера на нижнюю свободную орбиталь ближайшей молекулы аналита с образованием более низкого энергетического уровня. Обычно рекомбинация электрона и дырки в синглетном состоянии полимера происходит с излучением фотона. Обмен зарядом между молекулами полимера и взрывчатого вещества завершается безызлучательным переходом, что приводит к гашению флюоресценции.

В качестве активной среды органических полупроводниковых лазеров специально синтезируются полимеры, которые позволяют обнаружить пары взрывчатки измерением интенсивности флюоресценции в тонких полимерных пленках.

Для обеспечения лучшей эффективности было получено вещество – полимер с внутренней микропористостью. Строение этого полимера позволяет захватывать молекулы паров взрывчатых веществ, образовывая прочные связи, которые влияют на флюоресценцию лазера.

Чтобы определить оптимальные параметры сенсора, используются пленки разной толщины. Кроме того, проводятся измерения при разных схемах воздействия: однократное длительное и многократное короткое. Результаты воздействия сравнены между собой.

Обычно в датчиках взрывчатых паров используются флуоресцентные полимеры, излучение которых возвращается на исходный уровень, когда потоком чистого азота удаляются молекулы нитроароматических паров. Однако, при использовании полимера с внутренней микропористосью не обнаружилось восстановления исходного уровня флюоресценции. Это свойство дает возможность для создания сенсоров при очень низкой концентрации, а также это может быть использовано для поглотителей взрывчатых паров.

Таким образом, полимерные лазеры являются хорошими датчиками для взрывчатых паров с низким давлением. Влияние паров может быть обнаружено за счёт контроля изменения фотолюминесценции в тонких плёнках. За счёт сильного взаимодействия между молекулами полимера и паров изменение накапливаются.

Лазеры на полимерах с внутренней микропористостью имеют большую сенсорную эффективность и быстрее реагируют на пары низкой концентрации, поэтому могут быть потенциально использованы как ультра-чувствительные сенсоры. Кроме того, есть перспектива создания недорогих портативных сенсоров взрывчатки, основанных на светоизлучающих полимерах.

Литература

Dr. Yue Wang, *Low Threshold Organic Semiconductor Lasers*, School of Physics and Astronomy, Organic Semiconductor Centre University of St Andrews St Andrews Scotland, UK

Tessler, N., Denton, G. J., & Friend, R. H. (1996). *Lasing from conjugated-polymer microcavities*. Nature, 382(6593), 695–697.

Kepler, R. G., Valencia, V. S., Jacobs, S. J., & McNamara, J. J. (1996*). Exciton-exciton annihilation in poly(p-phenylenevinylene) films*. Synthetic Met, 78(3), 227–230.

Frolov, S. V., Vardeny, Z. V., & Yoshino, K. (1998). *Cooperative and stimulated emission in poly(p-phenylene-vinylene) thin films and solutions*. Physical Review B, 57(15), 9141–9147.

DiazGarcia, M. A., Hide, F., Schwartz, B. J., Andersson, M. R., Pei, Q. B., & Heeger, A. J. (1997). *Plastic lasers: Semiconducting polymers as a new class of solid-state laser materials.* Synthetic Met, 84(1–3), 455–462.

Schoon, A., & Berntsen, T. G. (2011). *Evaluating the effect of early neurological stimulation on the development and training of mine detection dogs.* Journal of Veterinary Behaviour, 6(2), 150–157.

McLean, I. G. (2003). *Mine Detection Dogs: Training, Operations and Odour Detection.* Geneva: Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD).
Yang, J. S., & Swager, T. M. (1998). *Fluorescent porous polymer films as TNT chemosensors: electronic and structural effects.* Journal of the American Chemical Society, 120(46), 11864–11873.
Czarnik, A. W. (1998). *A sense for landmines.* Nature, 394(6692), 417–418.
Зырянов Г. В., Слепухин П. А., Ковалев И. С., Чупахин О. Н. Оптические сенсоры для обнаружения нитроароматических соединений // XIV молодежная конференция по органической химии. — Екатеринбург, 2011. — С. 365-366.

УДК 621

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕПЛАСТИКА

Тамара Бежановна Урушадзе, Елизавета Юрьевна Копаева

Студенты 5 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Богданов,
доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Лазерная резка различных материалов привела к изобретению многочисленных промышленных процессов, которые переопределили скорость производства поточной линии и практическое промышленное применение. В частности, значительное внимание уделяется разрезанию углепластика (CFRTP [1]), который обычно изготавливается из полимерных матриц и армированных углеродных волокон. CFRTP представляет собой высокопрочный композиционный материал с небольшим весом. Он все чаще используется в различных отраслях промышленности, а в автомобильной и аэрокосмической в особенности. Наш материал посвящен лазерной резке CFRTP с помощью газового CO_2-лазера (λ = 10,6 мкм) и непрерывного волоконного лазера (λ = 1090 нм).

1) Эксперименты с использованием CO_2-лазера[3].
Лазер, разработанный Trumpf Laser- Und Systemtechnik GmbH, обеспечивает лазерное излучение в непрерывном режиме с максимальной мощностью до 3 кВт и в импульсном режиме среднюю мощность до 1,5 кВт с длительностью импульса в диапазоне 200 нс. Распыленный и уплотненный волокном материал CFRTP обрезается в непрерывном режиме, так как скорость обработки в непрерывном режиме в 5 раз выше, чем в импульсном режиме при той же средней мощности.

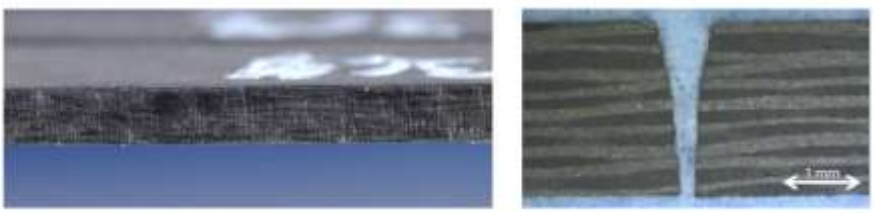


Рис.1. При средней мощности 1,0 кВт и пиковой мощности 60 кВт. Образцы углепластика (толщина 2 мм, содержание волокон 55%, матрица ПА, тканые слои 0/90°) резали с частотой абляции 350 мм³ / мин.

[1]carbon fiber reinforced thermo-plastic (англ.) – углеволоконный термопластик

В статье мы рассматриваем различные режимы газолазерной резки и качественные показатели полученного реза, такие как зона термического влияния и чистота кромки реза.
Также мы рассматриваем многопроходную резку. Многопроходный процесс обеспечивает более чистую кромку по сравнению с однопроходным резом при скорости резания близкой к максимальной скорости[5].
2) Эксперименты с использованием волоконного лазера
Использовался непрерывный ИК-лазер [Miyachi, многомодовый волоконный лазер (диаметр сердцевины волокна: φ = 50 мм, длина волны лазера λ = 1090 нм, средняя мощность: P = 1 кВт)] [6]. Лазерный луч на поверхности образца (скорость сканирования: 200 - 2300 мм/с$^{-1}$) сканировался с помощью гальванометрического сканера путем многократного сканирования в воздухе (без вспомогательного газа). Луч фокусировался линзой f-theta (f = 160 мм). Для проведения лазерной резки был использован образец CFRTP толщиной 3 мм, изготовленный методом компрессионного формования. Образец был установлен на 3-х координатном компьютерно-управляемом столе для сканирования.
Мы приводим результаты резки и их обсуждение.

Заключение.
CFRP является типичным труднообрабатываемым материалом, который, как правило, состоит из связующего и армированного углеродного волокна. Для резки компонентов GFRP наивысшая производительность достигается при использовании CO_2-лазера в непрерывном режиме в однопроходной газовой резке.

Литература.

1. *K. Sugioka, M. Meunier, A. Piqué.*Laser Precision Microfabrication // Springer Series in Materials Science. – Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, – 2010.
2. *D. Bauerle*. Laser Processing and Chemistry. – Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg. – 2011.
3. *C. Hopmann, A. Böttcher, K. van der Straeten, R. Riedel, F. Schneider, C. Engelmann, K. Fischer.* Neue Prozesskette für faserverstärkte Thermoplaste // Werkstatttechnik, – 2014. – №9. – pp. 575-580.
4. *F. Schneider, N. Wolf, C. Engelmann, W. Moll, D. Petring*. Laser Cutting and Joining in a Novel Process Chain for Fibre Reinforced Plastics // Lasers in Manufacturing Conference. – 2015.
5. *J. Finger, M. Weinand, D. Wortmann.* Ablation and cutting of carbon-fiber reinforced plastics using picosecond pulsed laser radiation with high average power // Journal of Laser Applications. – 2013. – №25.
6. *H. Niino, Y. Kawaguchi, T. Sato, A. Narazaki, R. Kurosaki, M. Muramatsu, Y. Harada, K. Anzai, K. Wakabayashi, T. Nagashima, Z. Kase, M. Matsushita, K. Furukawa, M. Nishino.*Laser Cutting of Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastic (CFRTP) by IR Laser Irradiation // Journal of Laser Micro/Nanoengineering. – 2014. – № 2.
7. *M. Jarwitz, V. Onuseit, R. Weber, T. Graf.* Spectral analysis of laser processing of carbon fiber reinforced plastics // Physics Procedia. – 2013. – pp. 489-494.

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СОВМЕСТНО СПЕКАЕМОЙ КЕРАМИКИ НА ЛАЗЕРЕ LRS-150

Дмитрий АндреевичФоростяный [(1)], Андрей БорисовичСадков[(1)], Светлана Леонидовна Пономаренко[(2)]

Студент 5 курса [(1)], студентка 3 курса [(2)]
кафедра «Лазерные технологии»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В.Голубенко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии»

Введение

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) используется в различных отраслях промышленности на протяжении многих лет. Усовершенствование LTCC материалов, технологических процессов и методов производства привело к снижению стоимости и улучшению технических характеристик электронных изделий. Это существенно увеличило интерес к LTCC технологии со стороны производителей высокочастотной техники, оптоэлектроники и микроэлектромеханических систем. Новые возможности открываются для производства электронных изделий в таких направлениях, как телекоммуникации, медицина, автомобильная, военная и космическая техника. В данной работе мы рассмотрим основные преимущества, особенности и свойства материалов для LTCC технологии.

На данном этапе весьма актуальны исследования новых методов и разработка новых технологий для усовершенствования существующих технических процессов с целью получения более высокого качества или большей производительности. В связи с этим принято решение разработать технологический процесс для осуществления одного из этапов производства интегральной микросхемы – процесс вырезания заготовки из цельного листа керамического полотна.

Существующий метод изготовления слоев интегральной микросхемы и предлагаемый способ усовершенствования технологии.

В настоящее время технологический процесс получения слоя интегральной микросхемы выглядит следующим образом:

Получение керамического листа;

Закрепление листа на рабочем столе;

Формирование геометрии изделия с помощью штампов;

Вырубка изделия из листа с помощью штанцформ;

Контроль.

Существует ряд недостатков:

Износ инструмента, замятие листов, изменение геометрических размеров.

В данной работе предлагается альтернативный метод изготовления изделия с применением лазерной техники и лазерных технологий:

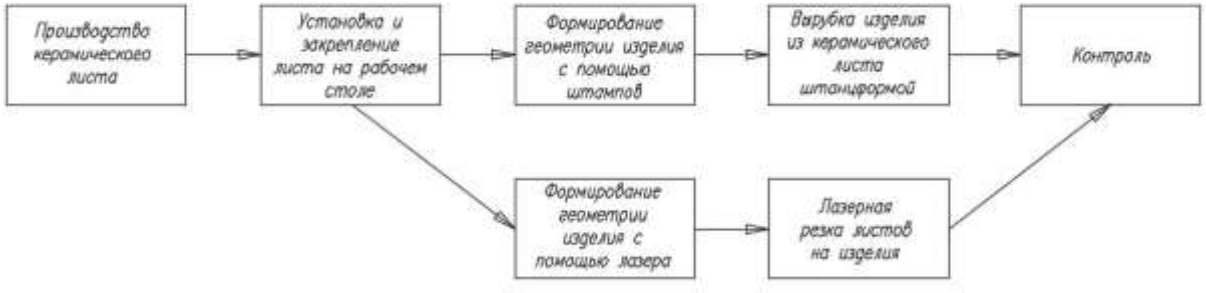


Рисунок 1. Методы изготовления листов интегральных микросхем.

Несомненными достоинствами привнесенных изменений являются возможность полной автоматизации, высокая точность, высокая производительность, отсутствие инструмента.
Но привнесенные изменения также обладают рядом недостатков, таких, как высокая стоимость оборудования и потребность в высококвалифицированных рабочих.
Так как высококвалифицированный персонал требуется для обслуживания любого оборудования, а при достаточном объеме выпуска новое оборудование будет окуплено в короткие сроки, является целесообразным внедрение предлагаемого технологического процесса в производство.

Расчет режимов лазерной обработки.

Запишем уравнение теплового баланса для случая лазерной резки:
$\eta \cdot P = F \cdot V \cdot \rho \cdot (C_1 \cdot (T_{пл} - T_0) + L_{пл}) + F \cdot V \cdot \rho \cdot (C_2 \cdot (T_{исп} - T_{пл}) + L_{исп})$, где
η-полный КПД процесса, принимается 0,21
P-рассчитываемая мощность
$F = h \cdot d = 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 0{,}1$ мм^2
V=10 мм/с - скорость резки
C_1=775Дж/(кг·К) -теплоемкость в интервале температур T_0-$T_{пл}$
C_2=1463Дж/(кг·К) -теплоемкость в интервале температур $T_{пл}$-$T_{исп}$
ρ=3750 кг/м^3-плотность материала
$L_{пл}$=1093 кДж/кг - скрытая теплота плавления
$L_{исп}$=3253 кДж/кг - скрытая теплота испарения
T_0=20°C - температура окружающей среды
$T_{пл}$=2044°C - температура плавления материала
$T_{исп}$=2980°C - температура испарения материала
Отсюда P=130 Вт-требуемая средняя мощность.

Выбор оборудования и его краткая техническая характеристика.

Исходя из предъявляемых требований к изделию выбираем импульсно-периодический лазер на YAG:Nd с ламповой накачкой мощностью 150 Вт.
Данным условиям соответствует установка LRS-150 производства ООО «ОКБ Булат».

Исследовательская часть

Так как теоретический расчет не учитывает множество факторов (например, не учитывалось влияние подачи сжатого воздуха в зону обработки при лазерной резке, не учитывалось состояние поверхности заготовки и т.д.), целесообразно провести собственные исследования с целью уточнения оптимальных режимов для лазерной резки низкотемпературной совместно спекаемой керамики.
Так как для лучшего качества необходима минимальная длительность импульса, ее оптимальное значение было принято равным 0,7 мс. По предварительным пробам полный рез формировался на скоростях до 4 м/мин и при частотах около 25-35 Гц. В соответствии с этими данными были сформированы следующий режим для первого эксперимента:
τ=0,7 мс, ν=30 Гц, V=3 м/мин
Первоначально был проведен эксперимент по определению оптимальной средней мощности источника. Были измерены зависимости ширины реза и конусности от средней мощности источника. Результаты представлены в таблице 1:
Таблица 1. Результаты первой серии экспериментов.

№ п/п	P, %	d, мм	$d_{вых}$, мм	C, %	W, Дж	$P_{ср}$, Вт
1	95	0,71	0,7	5	1,8	54
2	85	0,64	0,63	5	1,22	36,6
3	75	0,39	0,37	10	0,73	21,9

По данным эксперимента были построены зависимости:

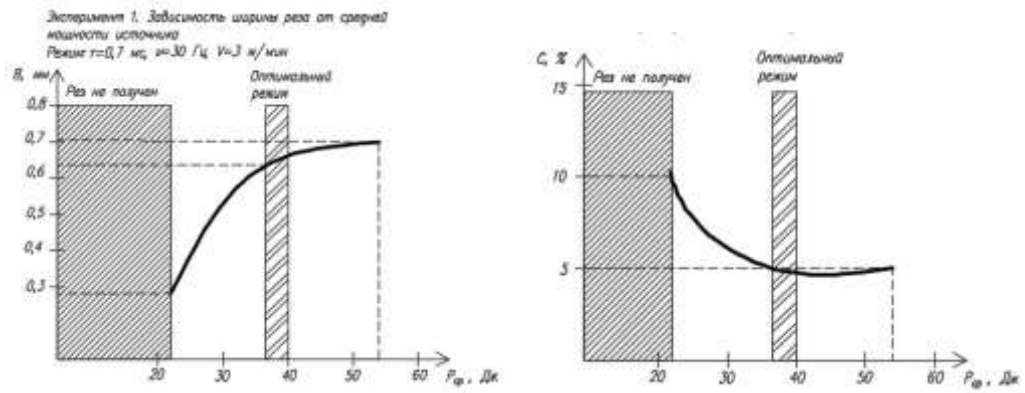


Рисунок 2,3. Графические зависимости эксперимента 1.

Из технических требований, сформированных в начале, выделяем в качестве оптимальной область с конусностью 5% и менее и минимальной шириной реза.

В оптимальную зону попали значения средней мощности 37-40 Вт.

Во втором эксперименте в качестве изменяемого параметра выступила частота следования импульсов. Режимы резки были следующими:

τ=0,7 мс, V=3 м/мин. Результаты представлены в таблице 2:

Таблица 2. Результаты второй серии экспериментов.

№ п/п	ν, Гц	d, мм	$d_{вых}$, мм	C, %	W, Дж	$P_{ср}$, Вт
4	34	0,43	0,4	15	1,22	41,48
5	32	0,37	0,36	5	1,22	39,04
6	30	0,36	0,34	10	1,22	36,6

По данным были построены зависимости:

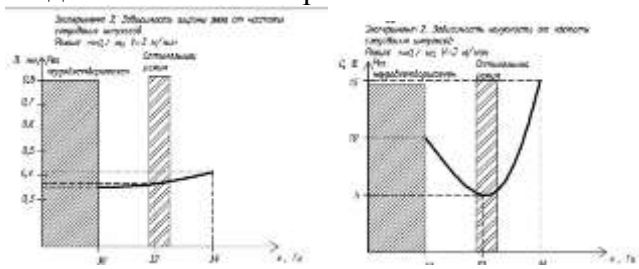


Рисунок 4,5. Графические зависимости эксперимента

Исходя из технических требований к изделию, выбираем область с конусностью в районе 5% и минимальной шириной реза.

В итоге получаем следующие оптимальные параметры:

$P_{ср}$=36-40 Вт, τ=0,7-1 мс, V=3-4 м/мин, ν=32-33 Гц.

Заключение

В данной работе был проведен мониторинг существующих методов изготовления изделий из низкотемпературной совместно спекаемой керамики, в результате был предложен альтернативный метод получения изделий. На начальном этапе были проведены теоретические расчеты, которые впоследствии были скорректированы путем проведения экспериментов. В результате было установлено, что на данном оборудовании с данными параметрами возможно получить рез достаточного качества для удовлетворения технических требований к изделию, что, в свою очередь, подтверждает целесообразность применения изложенного технологического процесса на практике.

Литература

Учебное пособие для вузов/ *под ред. А.Г. Григорьянца*. – 2-е изд., стереотип. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. – 664 с.

Наукоёмкие технологии в машиностроении / *А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова*. М.: Машиностроение, 2012. – 528 с.

Практика прецизионной лазерной обработки / *Е.Д. Вакс, М.Н. Миленький, Л.Г. Сапрыкин*. М.: Техносфера, 2013. – 696 с.
Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения.М**.:** Высш. школа, 1974.
Якушев А.Н. Воронцов Л.Н. Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987.
Реди Д. Промышленное применение лазеров / Пер. с англ., М.: Мир, 1981.
Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989.
*Бабичев А. П., Бабушкина Н.А., Братковский А. М***.** Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1234 с.

Секция XIII

Реновационные технологии

Председатель:	**Ступников Владимир Петрович** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Реновационные технологии» (МТ-13), МГТУ им. Н. Э. Баумана
Ученый секретарь:	**Козлов Анатолий Владимирович** кандидат технических наук, доцент кафедры «Реновационные технологии» (МТ-13)

УДК 621.777.2

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДАВЛИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Дмитрий Викторович Бажанов

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. Л. Воронцов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время одной из основных задач современной технологии машиностроения является повышение качества получаемых изделий. Наиболее полно эта задача реализуется при использовании процессов, основанных на холодной пластической деформации. К числу наиболее прогрессивных процессов относится объемная штамповка. Особое место среди операций объемной штамповки занимает выдавливание. Выдавливанием получают детали различной формы и назначения, используя соответствующие способы: прямое выдавливание, обратное, комбинированное, дифференцированное, выдавливание с активными силами трения или комбинации выше приведенных способов[1].

Прямое выдавливание рис. 1представляет собой истечение металла заготовки относительно контейнера (боковых стенок матрицы) в направлении, совпадающем с движением пуансона. Отличительной особенностью прямого выдавливания является ярко выраженное перемещение металла относительно боковых стенок матрицы.

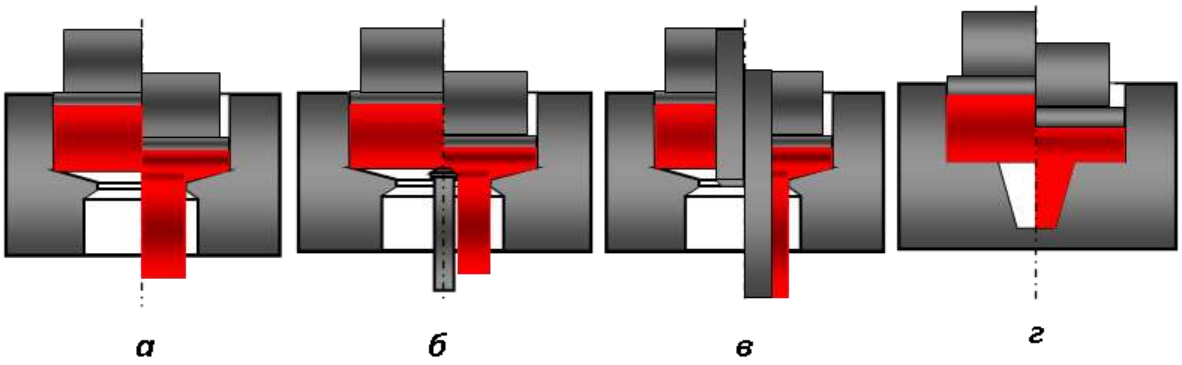


Рис.1.Способы прямого выдавливания

Наиболее перспективным способом для получения изделий прямоугольного сечения является способ, изображенный на рис. 1 *а*. Для совершенствования технологии необходимо разработать математическую модель процесса прямого выдавливания изделий прямоугольного поперечного сечения. С целью проверки достоверности и точности надо провести широкую экспериментальную проверку полученных теоретических результатов. Для большей объективности целесообразно провести и сопоставления с имеющимися опытными данными других исследователей. Проведенные исследования позволятразработать уточненную методику проектирования технологии изготовления изделий прямоугольного сечения методом выдавливания.

Литература
1. *А. Л. Воронцов*. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением : учеб. пособие в 2 т. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014., Т.1. – 396 с.: ил., Т.2. – 441 с.: ил.

УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ МЕТЧИКОВ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩЕЙ ПРИСАДКИ В СОСТАВ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Никита Юрьевич Гаврилов

Студент4курса, бакалавриат,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.Ю. Игнаткин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В процессе реновации неизменно происходит механическая обработка восстановленных поверхностей, в ходе которых наблюдается износ инструмента. Данная проблема затрагивает не только отдельные аспекты машиностроения, но и всю область целиком, что несомненно является индикатором актуальности задачи повышения стойкости инструментов.
Задача повышения стойкости металлорежущего инструмента решается различными способами, основными из них являются:
Насыщение поверхностного слоя инструмента
Улучшение структуры термической обработкой
Повышение качества поверхности инструмента, например, доводкой
Применение смазочно-охлаждающих технических сред.
В данной работе, в качестве примера будет рассмотрено увеличение стойкости метчика при использовании смазочно-охлаждающих технических сред (СОТС) с присадкой «Валена».
Металлоплакирующая присадка «Валена» - многофункциональная присадка, используемая в тяжело нагруженных узлах трения. Данный выбор был сделан из-за ниличия эффекта безызносного трения, открытого Д.Н.Гаркуновым и И.В.Крагельским. Суть эффекта состоит в том, что в паре трения сталь - медь, сталь - бронза или сталь - латунь из твердого раствора выделяется медь, это происходит из-за разрушения межатомных связей. Выделившаяся чистая медь переносится на поверхность стали в виде слоя, толщиной около тысячной доли миллиметра. Защитная пленка, которая возникает на поверхностях трения, называется “сервовитной” от латинского “**servo-witte**” - спасать жизнь.
Эффект Ребиндера объясняет снижение напряжения сдвига в очень тонком поверхностном слое металла. Эффект Ребиндера можно рассматривать как результат адсорбции поверхностно активных молекул жидкости на микротрещинах, возникающие при механическом нагружении.
Методика испытаний. Испытания периода стойкости проводились для машинных метчиков М10Х1 из быстрорежущей стали марки Р6М5. В качестве смазочно-охлаждающих технических сред использовались: чистое индустриальное масло И-30 и 20 процентный раствор Валены в том же масле. Для каждой серии испытаний предусмотрено 3 метчика. Работы по нарезанию резьбы проводились на вертикально-сверлильном станке 2Н118 с частотой вращения инструмента n=450 об/мин, что соответствует скорости резания 10 м/мин. Испытания проводились на заготовках из сталей: Ст 3 и Сталь 40Х. Измерение износа осуществлялось на микроскопе Supereyesb008.
Метчики, работавшие в среде СОТС с присадкой «Валена» приобрели характерный красный цвет, что свидетельствует об образовании защитной медной плёнки на поверхности инструмента.

В дальнейшем будут проведены исследования по определению оптимальной концентрации Валены в зависимости от периода стойкости и скорости резания.

Литература

Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность). М.: Издательство МСХА, 2001. 616 с., ил.280.

Бугаев А.М., Игнаткин И.Ю. ФАБО как технологический метод повышения ресурса ДВС // Международный научно-исследовательский журнал, 2017. №1-4(55). С. 36-38.

Кононенко, А.С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис. … докт. техн. наук. М., 2012. 266 с.

Пучин Е.А., Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Титов Н.В., Семешин А.Л., Корнеев В.М., Коренев В.Н., Кононенко А.С., Орлов А.М., Лайко Д.В., Варнаков Д.В. Надежность технических систем. Курсовое проектирование: учебное пособие. Орел: Изд-во ОрелГау, 2012. 96 с.

УДК 621.735

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОКОВОК ТИПА СТАКАН С МИНИМАЛЬНОЙ РАЗНОСТЕННОСТЬЮ

Валерий Александрович Говоров

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»

Значительную часть продукции отрасли машиностроения составляют корпусные поковки типа «стакан». Типовыми деталями, получаемыми из таких поковок, являются изделия нефтяной промышленности, пневмоцилиндры, корпуса снарядов, гидроцилиндры, баллоны, трубы, клапаны, втулки и другие детали.

При изготовлении поковок типа «стакан» на гидравлических прессах применяют обратное выдавливание (закрытую прошивку) и протяжку. При обратном выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем.

В процессе деформирования в результате воздействия различных случайных факторов (анизотропия свойств заготовки, неоднородность условий трения, накопленные отклонения от соосности элементов оснастки и заготовки и т.п.) пуансон стремится отклониться от оси. В результате наблюдается явление разностенности, которая влечет к увеличению расхода металла и трудоемкости последующей обработки резанием.

В работах профессора Е.И. Семенова, был предложен способ выдавливания поковок типа «стакан» с минимальной разностенностью. Для ее снижения при обратном выдавливании круглых или квадратных заготовок на торцах исходной заготовки диаметром $D_з$ и высотой $H_з$ методом обработки резанием предварительно выполняют наметку с основными размерами: угол α, диаметр $d_п$ и глубина наметки h, которая имеет форму усеченного конуса, направленная основанием меньшего диаметра в тело исходной заготовки. При этом наметка обеспечивает хорошее центрирование пуансона относительно оси заготовки и снижает разностенность полученных деталей типа стакан в 2 и более раза.

Целью данной работы является исследование влияния технологических параметров штамповки разностенность поковки типа «стакан».

Для определения условий получения поковки типа стакан с уменьшенной разностенностью и изучения особенностей формоизменения был использован программный комплекс DEFORM (Scientific Forming Technology Corporation, США), в котором промоделировали существующий и предлагаемый технологические процессы обратного выдавливания поковки типа «стакан».Для моделирования выдавливания деталей типа «стакан» был выбран модуль анализа трехмерного поведения материала: DEFORM-3D.Методика выявления зависимостей заключается в следующем: проводится моделирование процесса выдавливания по схемам обратного выдавливания при наличии наметок одного на обоих торцах заготовки, при этом варьируются основные размеры наметок (угол α, диаметр $d_п$ и глубина наметки h) при прочих равных условиях. Эскиз заготовки с нанесенными наметками и без них показан на рисунке 1.

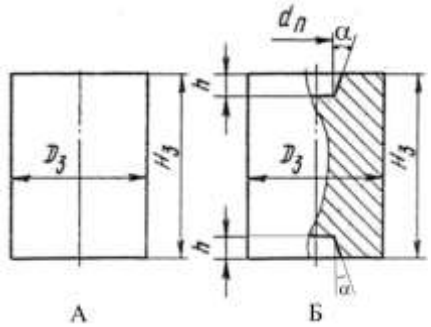


Рис. 1 Заготовка: А – без наметок, Б – с наметками

Размеры заготовки $D_з$= 95 мм и $H_з$ = 151 мм. Размеры наметки принимаются следующими: глубина h = 5, 10, 15 или 20 мм, наружный диаметр $d_п$ = 55 мм и угол наклона α = 7°.Эскиз инструмента показан на рисунке 2.

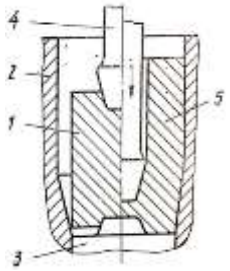


Рис. 2 Схема получения поковки типа «стакан»
1 – заготовка, 2 – матрица, 3 – контрпуансон, 4 – пуансон, 5 – готовое изделие

При моделировании исследуется влияние варьируемых факторов на следующие технологические параметры: несоосность пуансона и матрицы, наклон исходной заготовки в матрице в начальном положении, коэффициент трения и оборудование, задаваемые в DEFORM. Для компьютерного моделирования будет использован материал заготовки - сталь 30ХГСА, а для экспериментальной проверки полученных результатов - свинцовые заготовки.

Выводы:

проведенный анализ литературных источников показал, что существующие методы не обеспечивают необходимых показателей разностенности поковок типа «стакан»;

была разработана методика экспериментальных исследований процесса закрытой штамповки поковок типа «стакан». В настоящее время, с применением методики, проводятся лабораторные исследования;

в дальнейшем планируется с использованием результатов экспериментальных и теоретических исследований разработать технологический процесс штамповки детали «корпус», а также предложения по модернизации гидравлического пресса с номинальной силой 20 МН.

Литература
1. *Семенов Е.И.* Способ изготовления деталей типа стаканов: пат. SU1648630 A1 СССР. 1988. 3 с.
2. *Денищев Т.В.* Совершенствование технологии штамповки поковок типа “стакан” методом комбинированного выдавливания: дисс. кандидата технических наук. – М., 2012. - 134 с.: ил.
3. *Чуваев И.С.* Разработка технологического процесса изготовления поковок типа стакан с уменьшенной разностенностью // Международная студенческая научно-практическая конференция: материалы сборника. – Омск: 2015.

УДК 621.7.04

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Сергей Александрович Жаворонков

Студент 3 курса
Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.С.Кононенко
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

В последние годы отмечается бурный рост научного, промышленного и коммерческого интереса к новому классу материалов, появление которого отразило стремление к миниатюризации в практике построения различных объектов. Это материалы, обладающие характерной атомно-кристаллической решеткой, демонстрирующие уникальные свойства, в России получили название ультрадисперсных, а в западной литературе – наноструктурных материалов. К этому классу относят материалы с размером структурных элементов от 1 до 100 нм.[1]

Обычные методы деформации – прокатка, волочение, прессование– в конечном счете обеспечивают уменьшение поперечного сечения заготовки, но не приводят кзначительному измельчению структуры материала. Нетрадиционные методы – кручение под гидростатическим давлением, равноканальное угловое прессование, знакопеременный изгиб – позволяют деформировать заготовку без изменения сечения и формы и достигать необходимых высоких степеней деформации и измельчения зерна.

К настоящему времени, современными методами пластической деформации получена нанокристаллическая структура в алюминии, железе, магнии, вольфраме, никеле, титане и их сплавах. Такая структура приводит к изменению физических и механических свойств.Полученные этими способами деформации образцы позволили начать систематические исследования механических свойств многих металлических материалов, включая промышленные сплавы. Экспериментально продемонстрировано, что в полученных наноструктурных образцах наблюдается повышение износостойкости, увеличение прочностных свойств при сохранении пластичности. Более того, такие материалы часто проявляют сверхпластичность при относительно низких температурах и могут демонстрировать высокоскоростную сверхпластичность[2].

Как известно, сочетание прочности и пластичности является необходимым условием для разработки перспективных материалов. Поэтому достижение достаточно высоких значенийэтих свойств в металлах и сплавах открывает пути создания принципиально новых конструкционных материалов, которые найдут применение в разных отраслях промышленности.

Литература

Гусев А.И. Нанокристаллические материалы методы получения и свойства.– Екатеринбург, 1998 – 200с.
Валиев Р.З., Александров И.В. // Доклады РАН. – 2001 – Т. 380. – №1. с.34–37.

УДК 678.5-1

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ

Иван Александрович Кузнецов

Магистр 1 года
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Кононенко,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Подшипниковые узлы являются одними из наиболее ответственных соединений в корпусных деталях автомобилей.Технология изготовления подшипниковых узлов достаточно трудоемка изатратна, поэтому неспециализированному производству трудно обеспечить надлежащее качество изготовления. В то же время, одной из основных причин выбраковки корпусных деталей является износ посадочных отверстий под подшипники, так как восстановление изношенного узла, в большинстве случаев, экономически нецелесообразно.Поэтому повышение долговечности подшипниковых узлов, снижение себестоимости ремонта, путём восстановления посадочных мест под подшипники качения новым технологичным методом, является актуальной задачей.

Изнашивание происходит в результате сложных процессов, протекающих на сопрягаемых поверхностях корпусных деталей и наружных колец подшипников. Однако основными причинами износа посадочных мест являются фреттинг-коррозия и проворачивание наружных колец подшипников в процессе эксплуатации[1].

Существующие способы восстановления, такие как наплавка, напыление, электролитическое наращивание, отличаются сложностью, потребностью в дорогостоящем технологическом оборудовании, высокой трудоемкостью, энергоемкостью и себестоимостью.Применение полимерных композиций, в отличие от существующих способов, исключает тепловое воздействие на восстанавливаемую деталь, не требует специального оборудования и высокой квалификации персонала, является наиболее экономически выгодным, отличается низкой трудоемкостью, обеспечивает высокую долговечность восстановленных деталей и необходимую защиту от фреттинг-коррозии. [2]

Недостатком полимерных материалов, является их недостаточные упругие свойства, а также стойкость к рабочим жидкостям и вибрационным нагрузкам. Однако модифицирование полимерного материала наночастицами, благодаря их малым размерам и высокой поверхностной энергии,позволяет улучшитьэти свойства[3].

Отечественная химическая промышленность постоянно обновляет номенклатуру полимерных материалов, которые отличаются широким спектром потребительских свойств. Это создает основу для разработки высокоэффективных технологических процессов восстановления, обеспечивающих дальнейшее повышение долговечности подшипниковых узлов и снижение затрат на реновацию техники.

Литература

Ли, Р.И. Применение полимерных материалов в подшипниковых узлах при изготовлении и ремонте машин [Текст]: монография / Р.И. Ли.– М.:Мичуринск, Издательство МичГАУ, 2010 – 169 с.
*Курчаткин В.В.*Восстановление посадок подшипников качениясельскохозяйственной техники полимерными материалами: диссертация / В.В. Курчаткин– М.: Москва, 1989.
*Гусев А.И.*Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.:Физматлит, Москва, 2005.

УДК 621.791

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧАТАЮЩЕГО УЗЛА 3D ПРИНТЕРА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

Богдан Денисович Дробышевский

Студент 4 курса (1),
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»

Объектом модернизации является крепление печатающего узла (Рис.1) 3D принтера AfinibotA1 (Рис.2).

Рис.1Крепление печатающего узла.

Рис.2 Принтер AfinibotA1.

3D-принтер — это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели [1].

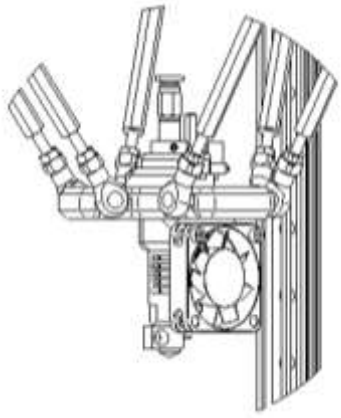


Рис.3 Система крепления экструдера 3D принтера.

Экструдер — это элемент для непрерывной переработки полимерного сырья (пластиковый пруток) в однородный расплав и придания ему формы путём продавливания через экструзионную головку, для нанесения печатного слоя.

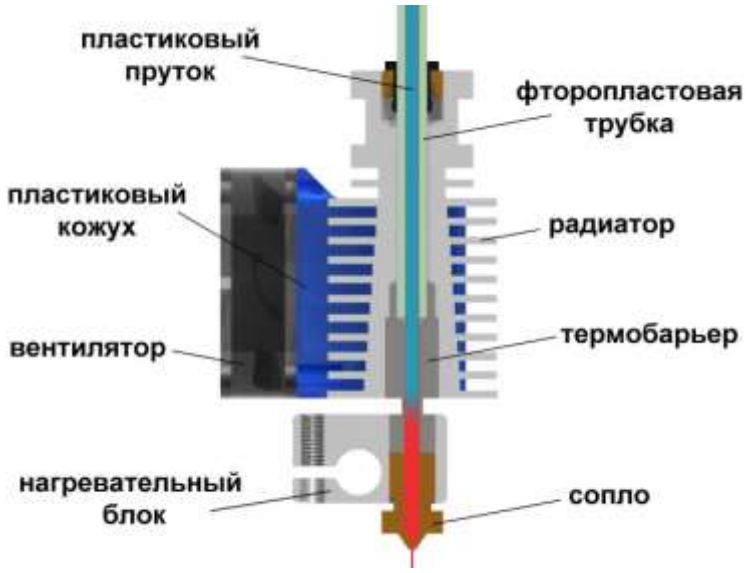


Рис.4 Устройство экструдера.

Рассмотрим вариант поднятия экструдера над платформой закрепления для увеличения рабочей зоны по оси Z

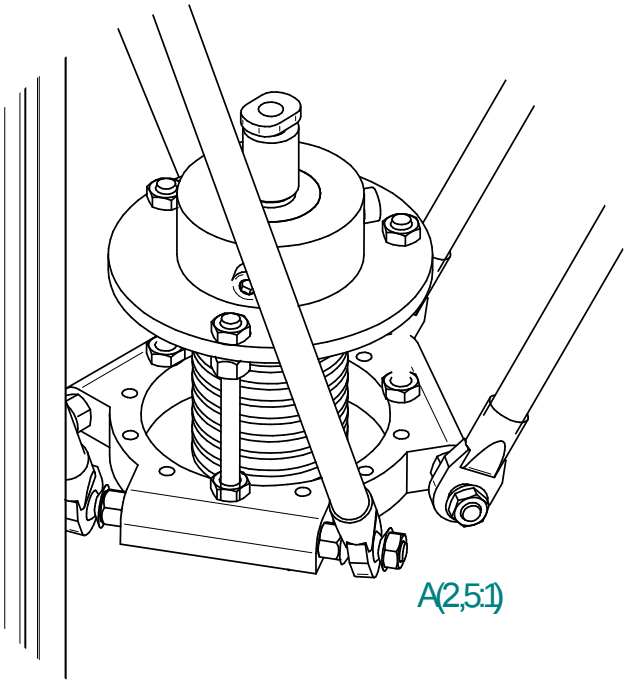


Рис.5 Поднятый экструдер.

Далее определим выигрыш в размере рабочей зоны по оси Z для этого измеряем расстояние от торца сопла до ближайшего торца поверхности закрепления.

Как видно из чертежа то расстояние равно 60,4 мм. Вычтем 5мм необходимых для калибровки. Получим 55,4 мм. Как известно из характеристик принтера рабочая зона по оси Z равна 170 мм, После модернизации составит 225,4 мм. Что увеличит область печать по оси Z на 32,5% ,а рабочий объем с $3{,}42 * 10^6 мм^3$ до $4{,}53 * 10^6 мм^3$ [2].

Проектирование новой конструкции [3]

САПР: SiemensPLMSolidEDGEST8

Визуализация: KeyShot 5

Расчет модели был проведен так же в САПР.
Ниже приведено изображение сборки 3D модели и распечатанного прототипа.

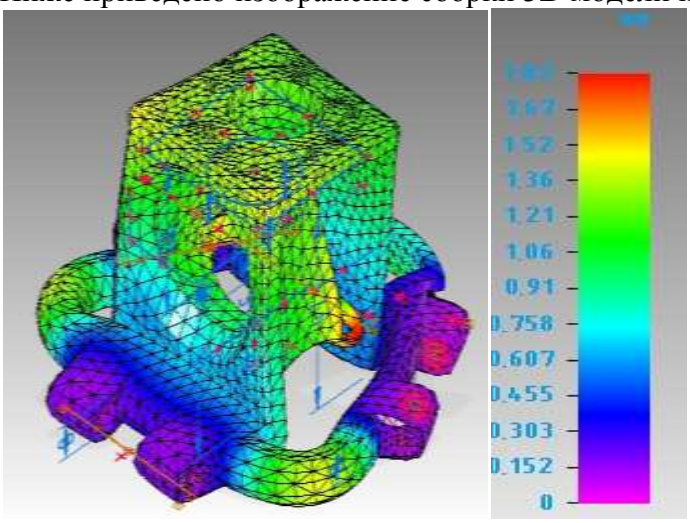


Рис.6Расчет линейных премещений.

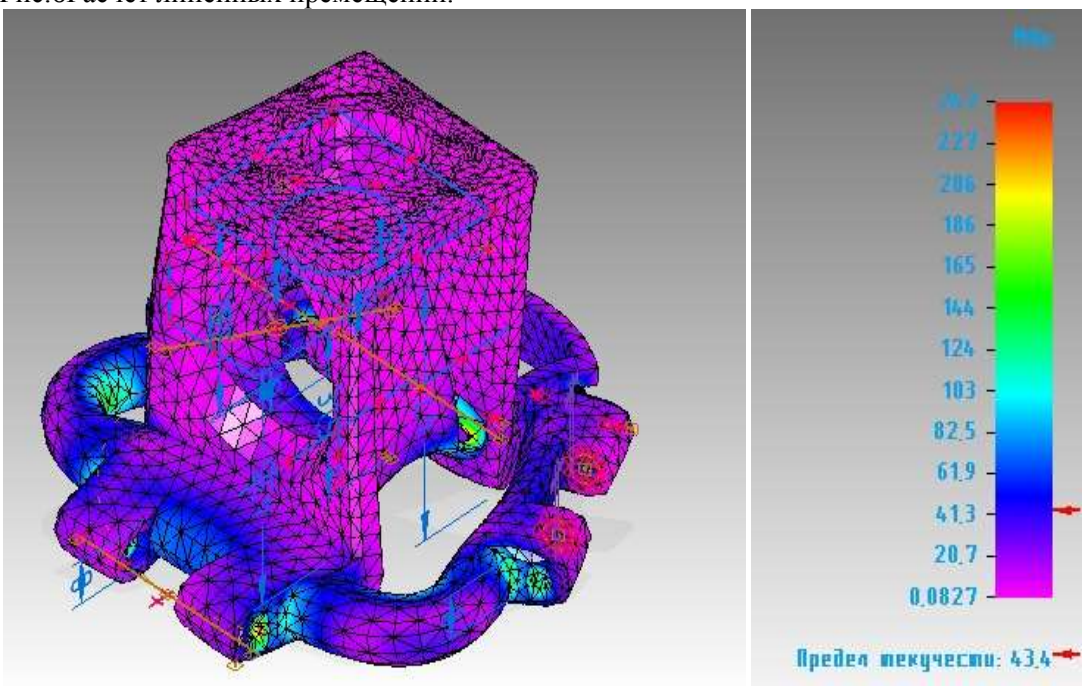


Рис.7Расчет напряжений в конструкции**.**

Рис.83D модель оптимизированной конструкции в сборе.

Рис.9Напечатанная модель с установленным экструдером.

Рис.10 Узел в сборе с установленными вентиляторами охлаждения.

Выполненные прикладные задачи:

Изменена конструкция системы крепления что привело к увеличению рабочей зоны на 32,5%.

Улучшена система охлаждения рабочей зоны и радиатора хотенда.

Выполненные учебные задачи:

Получены навыки самостоятельного проектирования и расчета узла.

Глубже изучены возможности имеющегося САПР (CAM/CAD/CAE).

Самостоятельная печать различных изделий при помощи 3D принтера.

Перспективы дальнейшей работы

Улучшение параметров точности принтера за счет оптимизации режимов печати.

Повышение уровня автономности принтера.

Установка на месте экструдера лазера и использование имеющегося устройства в качестве лазерного гравера.

Замена экструдера щупом и использования в качестве координатно измерительной машины с параллельной кинематикой.

Использование 3D принтера в связке с 3D сканером для отслеживания качества получаемого изделия в реальном времени.

Литература

1. *Merlet J.-P.*, Parallel robots (2nd ed.), Solid Mechanics and Its Applications,Springer,Vol.128, The Netherlands, 2006.

2. *Gosselin CM, Guillot M* (1991) The synthesis of manipulators with prescribed workspace. 123 ASMEJMechDes 113:451–455

3.*Ивахненко А.Г.* Структурно-параметрический синтез технологических сис-тем [Текст]: монография / А.Г. Ивахненко, В.В. Куц; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2010. 153 с., Библиогр.: с. 15

УДК 621.791.92

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Александр Владимирович Ерёмин

Магистр 1 года
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.Б. Слинко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время плазменная наплавка является современным способом нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность при изготовлении, упрочнении и восстановлении деталей машин.

Данная работа посвящена совершенствованию метода плазменно-порошковой наплавки с гравитационной подачей порошка в дугу путем совершенствования конструкции порошкового питателя. Целью данной работы является повышение производительности процесса плазменно-порошковой наплавки при получении тонкослойных покрытий.

Достоинством данного метода плазменно-порошковой наплавки (рис.1) является возможность наплавлять тонкослойные покрытия толщиной от 0,3 мм и выше[1].

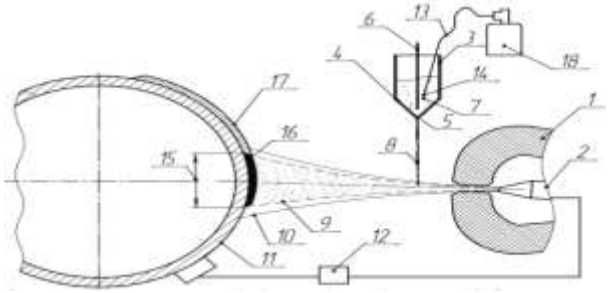


Рис. 1. Схема плазменно-порошковой наплавки с внешним вводом порошка в дугу
1 – плазмотрон; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – бункер; 4 – выпускная полость; 5 – дозирующее отверстие; 6 – запорная игла; 7 – порошок; 8 – поток порошка; 9 – столб сжатой дуги; 10 – сжатая дуга; 11 – наплавленная поверхность; 12 – источник сварочного тока ; 13 – узкоцилиндрический канал; 14 – зона ввода; 15 – пятно нагрева; 16 – сварочная ванна; 17 – наплавленный слой; 18 – баллон.

Кроме того данный метод плазменно-порошковой наплавки обеспечивает минимальное тепловложение, высокую производительность и экономный расход присадочных материалов и инертных газов.

Основной особенностью данного метода наплавки является схема подачи порошка в дугу. В отличие от традиционных способов, где порошок подается в дугу через плазмотрон, в данном методе наплавки используется гравитационная схема подачи порошка в дугу, что обеспечивает более интенсивное плавление частиц порошка в столбе плазменной дуги. Кроме того, данный способ подачи позволяет также экономить инертный газ, т.к. его не нужно расходовать на транспортировку порошка в дугу, а также исключить налипание расплавленных частиц порошка на плазмотрон, что увеличивает срок его службы.

При нанесении тонкослойных покрытий с необходимым припуском на последующую механическую обработку необходимо строго обеспечивать их заданную толщину. Это существенным образом зависит от равномерности подачи порошка из порошкового питателя в плазменную дугу, чтово многих случаях не обеспечивается их конструктивными особенностями.

В частности, у существующих порошковых питателей прохождение запорной иглы через слой порошкового материала приводит к неравномерному перемещению иглы вследствие её трения с порошком. Кроме того, при истечении порошка напрямую из бункера высота столба порошка над дозирующим отверстием постоянно изменяется, что приводит к изменению условий и скорости истечения порошка. Это приводит к неравномерности толщины нанесенного слояи, как следствие, к ухудшению качества нанесения покрытия.

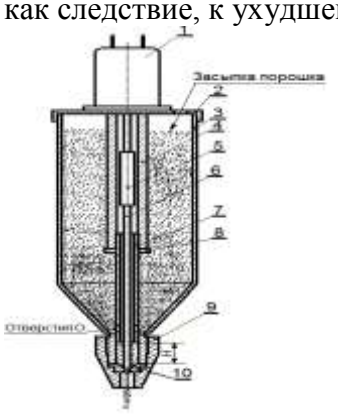


Рис. 2. Порошковый питатель
1 - электромагнит (вибратор); 2 - крышка корпуса с отверстием; 3 - корпус; питателя; 4 - трубка направляющая; 5 - груз; 6 - игла запорная; 7 - трубка-разделитель; 8 - контр-гайка; 9 - наконечник керамический; 10 – дозирующее отверстие.

Конструкция предлагаемого порошкового питателя (рис. 2) обеспечивает равномерное перемещение иглы и скорости истечения порошка [2].
В результате обеспечиваетсястабилизация толщины наплавляемого слоя и повышение качества наплавки за счет увеличения равномерности подачи порошкообразного присадочного материала в столб сжатой дуги путем поддержания постоянной небольшой толщины слоя порошка над дозирующим отверстием при истечении порошка из корпуса питателя.
Конструкция данного порошкового питателя была успешно опробована и внедрена при восстановлении изношенных деталей.

Литература
1.*Ожегов Н.М*. Способ плазменной наплавки: пат. 2479392 Российская Федерация. 2011, опубл. 20.04.2013, бюл. №11. – 9 с.
2. *Слинко Д.Б.* Порошковый питатель для плазменно-порошковой наплавки: пат. 2607679 Российская Федерация.

УДК 621.774.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ НА ДЛИННОЙ ОПРАВКЕ

Алексей Петрович Захарченко

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С. М. Карпов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Особое место в трубном производстве занимает выпуск холоднотянутых труб, имеющих точные допуска, чистую и гладкую поверхность, а также тонкостенных труб с заданными механическим свойствами. Диапазон применения холоднотянутых труб разнообразный. Они широко используются в машиностроении и приборостроении, в авиационной, химической и в других отраслях промышленности.

Следует отметить, что известный способ волочения труб на длинной подвижной оправке используется сравнительно мало, хотя перед другими способами производства тонкостенных труб он имеет ряд преимуществ.Техническое и экономическое сопоставление холодной прокатки труб и волочения на подвижной оправке свидетельствует о целесообразности значительного расширения области применения волочения труб на длинной оправке. Каждый способ волочения труб обладает определенными преимуществами перед другими. Но в тоже время каждому из них присущи и недостатки. Это, естественно, ограничивает возможность применения того или иного способа [1].

Длинноправочное волочение имеет ряд особенностей: в зоне обжатия силы трения между трубой и оправкой направлены в сторону выхода из очага деформации, что уменьшает продольные растягивающие напряжения, улучшает схему напряженного состояния и повышает пластичность металла. В результате могут быть получены большие разовые степени деформации. А вытяжка при волочении труб из углеродистой стали за один проход достигает величины 2,5. При увеличении коэффициента трения на оправке возможно налипание металла на инструмент в процессе волочения или при извлечении оправки из трубы. Если труба после волочения подается на последующий переход без извлечения оправки, то при этом силы трения, возникающие при сдвиге трубы с оправки, создают на входе в волоку напряжения сжатия, уменьшающие растягивающие напряжения в конце обжимной зоны, что позволяет увеличивать вытяжку.Так за два перехода при волочении стальных труб получена суммарная вытяжка 5,4. Волочение труб на длинной оправке одновременно через две волоки сходно с многопроходным волочением без извлечения оправки. Разница состоит в наличии противонатяжения, возникающего в каждой последующей волоке от воздействия сил предыдущей волоки. Эффект, производимый силами трения и приводящий к разгрузке переднего конца трубы от растягивающих напряжений, возрастает с увеличением расстояния между волоками. При волочении на длинной оправке деформируется в основном стенка трубы, что позволяет использовать этот процесс в первых переходах для обжатия стенки трубы после горячей прокатки или прессования [2]. К достоинствам процесса следует отнести отсутствие кривизны труб после волочения. Основными недостатками способа является:

- необходимость извлечения длинной оправки из трубы. Это ограничивает применение данного способа волочения, так как обкатка на определенном сортаменте труб либо затруднительна, либо вообще невозможна.
- ограниченность сортамента обкатываемых труб, сложность настройки, необходимость перевалок при изменение размеров труб.
- большие затраты времени на настройку механизмов обкатки труб, а также высокие требования к стабильности размеров оправок по длине. Парк оправок на стане, как правило, ограничен.

Указанные выше особенности процесса длинноправочного волочения сдерживают широкое распространение данного способа. Наиболее выгодно использовать данный способ при производстве труб из труднодеформируемых сталей, а также для труб с переменным по длине сечением. Усовершенствование оборудования, способов изготовления оправок и их извлечения из трубы, а также технологии волочения на длинной оправке позволитболее широко использовать этот способ при производстве углеродистых труб.

Литература

1. *Савин Г. А.* Волочение труб. Учеб. Пособие для ПТУ-2-у изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1993. – 336 с.
2. Технология оборудование трубного производства: Учебник для вузов / Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г., Коликов А.П. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2007. - 608 с.

УДК 621.7.06

МОДЕРНИЗАЦИЯ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО ПРЕССА МОДЕЛИ

Арсений Станиславович Калинин

Студент 4 курса,бакалавриат
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М. А. Сережкин,
ассистент кафедры «Технологии обработки материалов»

Кривошипные прессы широко распространены в современном машиностроении. В некоторых отраслях промышленности количество деталей, изготавливаемых листовой штамповкой на кривошипных прессах, превышает 50%. В данной статье рассматривается пресс, который используется в учебно-демонстрационных целях в лаборатории обработки давлением МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Привод от электродвигателя к исполнительному механизму состоит из клиноременной (от двигателя к маховику) передачи и управляемой муфты. Фиксацию ведомой части привода и исполнительного механизма в заданном положении (крайнее верхнее нерабочее положение ползуна) осуществляют тормозом. Своевременное включение и выключение муфты и тормоза осуществляют системой управления. Узел управления состоит из электрических, механических, пневматических механизмов, с помощью которых обеспечивается своевременное срабатывание муфты или тормоза, а также соответствующее блокирование.

Для работы пресса необходима подача воздуха под давлением 4 атм. вегопневмосистему. Для этого в лаборатории используется компрессор, при работе которого уровень шума превышает установленные в СНиП 23-03-2003 нормы для учебных помещений (см. табл. 1). Кроме того, в процессе эксплуатации элементы пневматической системы подвергаются износу и возникают утечки, в результате чего давление в системе падает, и пресс может работать неправильно. Поэтому является целесообразным реализовать проект модернизации пневосистемы пресса для возможности дальнейшей его эксплуатации в учебном помещении.

В рамках модернизации был установлен газовый редуктор, что позволило прессу работать при выключенном компрессоре и снизить уровень шума в соответствии с требованиями СНиП 23-03-2003 (см. табл. 1). Редуктор был установлен на выходе из компрессора, таким образом, один раз набрав необходимый уровень давления в компрессоре, можно зафиксировать требуемое давление в пневматической системе пресса. Также был заменен старый электромагнитный клапан, в котором наблюдались утечка давления, что позволило стабилизировать работу пневмосистемы пресса.

Табл. 1. Уровень звука до и после модернизации.

Расстояние до пресса, м	Уровень звука, дБ При выключенном прессе	До модернизации	После модернизации	Максимально допустимый для учебных помещений согласно СНиП 23-03-2003
1	40	87	60	55
3	40	81	52	55
5	40	79	50	55

Для более эффективного освоения программы дисциплины была выполнена светодиодная подсветка штампового пространства пресса и кривошипно-шатунного механизма. Подсветка осуществляется с использованием безопасного для здоровья человека напряжения 5В, что удовлетворяет требованиям электробезопасности по ГОСТ 12.1.038-82.
Представленный проект модернизации кривошипного пресса позволяет оптимизировать работу пневмосистемы и привести в соответствие с требованиями уровень шума в учебной лаборатории.Объёма воздуха в ресивере компрессора хватит для целого дня работы пресса в учебных целях без включения компрессора.Полученные после модернизации характеристики пресса удовлетворяют требованиям СНиП 23-03-2003. Это позволяет эксплуатировать его в качестве учебно-демонстрационного оборудования для подготовки студентов по программам бакалавриата и специалитета с возможностью реализации "русского метода обучения".

Литература
Свистунов В. Е. Кузнечно-штамповочное оборудование. Кривошипные прессы: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2008. –704 с.
Пресс однокривошипный открытый простого действия К2324. Руководство по эксплуатации.
СНиП 23-03-2003. Защита от шума.Введ. 2003-06-30.
ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.Введ. 1983-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001.

УДК 621.792

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СЕРДЦЕВИН РАДИАТОРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПОЛИМЕРНЫМИ НАНОКОМПОЗИЦИЯМИ

Тимур Анверович Кильдеев

Студент3курса,
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»

Обеспечение эффективного отвода тепла от работающего двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС) является одним из ключевых факторов, определяющих долговечность как самого двигателя, так и машины в целом. Функцию теплообмена выполняет радиатор системы охлаждения ДВС, работающий в весьма экстремальных и агрессивных условиях. В процессе эксплуатации машины возможно возникновение дефектов радиатора системы охлаждения, которые могут привести к перегреву двигателя, что может вызвать структурное изменение его

деталей, прогар клапанов, повышенный износ деталей из-за обгорания масляной пленки на трущихся частях, а также к снижению мощностных показателей. Наиболее часто встречаются такие дефекты, как загрязнения радиатора ДВС и отложения в нем, а также нарушения его герметичности – трещины, разрывы и пробоины [1].

К традиционным способам ремонта радиатора относятся заглушка, замена или пайка поврежденных трубок, а также добавление в охлаждающую жидкость герметиков. Следует отметить, что среди перечисленных способов пайка является наиболее эффективным, так как остальные могут привести к снижению теплообмена. В настоящее время, широкое распространение при ремонте трещин, разрывов и пробоин получили полимерные композитные материалы холодного отвержения. Достоинствами таких материалов являются стойкость к вибрационным нагрузкам, воздействию рабочих жидкостей, старению и коррозии, широкий диапазон рабочих температур и удобство использования.

Однако полимерные материалы не всегда удовлетворяют эксплуатационным требованиям техники, что приводит к снижению долговечности отремонтированных деталей, определяемой адгезионной прочностью, стойкостью к механическим нагрузкам и воздействию рабочей среды. Для улучшения этих свойствиспользуются нанонаполнители, которые обладают высокой поверхностной энергиейи малыми размерами [2].

В рассматриваемой технологии восстановления радиаторов систем охлаждения ДВС полимерными составами особое внимание уделяется подготовке поверхности и приготовлению нанокомпозиций, использование которых позволит повысить эффективность ремонтных работ и долговечность восстановленных радиаторов.

Литература

Кононенко А.С., Киселев Р.В. Восстановление радиаторов // Сельский механизатор. 2004. № 6. С. 22–23.

Кононенко А.С. Теория и практика герметизации фланцевых соединений сельскохозяйственной техники полимерными нанокомпозициями: монография / А. С. Кононенко. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. – 180 с.

УДК 658.588.8

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА "ВАЛ"

Анастасия Алексеевна Кохан

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.И. Кушнарев,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии восстановления материалов»

В сложившейся рыночной ситуации восстановление деталей позволит поддержать уровень работоспособности машин и оборудования, без значительного увеличения затрат на их приобретение. Это позволит стабилизировать количество используемой техники в народном хозяйстве страны без значительного увеличения затрат на её приобретения.

В ремонтной практике применяются следующие основные способы восстановления изношенных деталей: механическая и слесарная обработка, сварка, наплавка, металлизация, хромирование, никелирование, осталивание, склеивание, упрочнение поверхности деталей и восстановление их формы под давлением [1].

Основные дефекты валов, их эксплуатации, делятся на следующие группы: мелкие повреждения, повреждения с появлением трещин повреждения с изломом, скручивание отдельных участков [8]. В зависимости от дефекта рассматривают такие методы восстановления как: шлифование под ремонтный размер, нанесение покрытий электродуговой наплавкой, электроконтактной приваркой ленты, наплавка с последующим обтачиванием и шлифованием, электроконтактная приварка ленты с последующим шлифованием, фрезерование под увеличенный размер шпонок, новой шпоночной канавки, развертывание под ремонтный размер, шлифование шеек под ремонтный размер с последующей балансировкой[2].

Работоспособность техники обеспечивается планово-предупредительной системой ее технического обслуживания и ремонта. Для выбора рационального способа восстановления деталей целесообразно пользоваться методикой, основанной на последовательном рассмотрении восстановления деталей согласно трем критериям: применимости, долговечности, технико-экономической эффективности.Исходя из вышеуказанных критериев, наиболее эффективным является метод плазменно-порошковой наплавки [4,5].

В результате проведенных исследований были получены следующие показатели эффективности восстановления деталей класса «ВАЛ» [4]:

Цена восстановленной детали по сравнению с новой уменьшилась на 15%.

Срок службы восстановленного вала увеличился в 5 раз

Производительность возросла в 9 раз.

Основной задачей функционирования ремонтного хозяйства предприятия является обеспечение бесперебойной эксплуатации оборудования. Служба ремонтного хозяйства в системе управления предприятием подчинена главному инженеру. В ее состав входят: ремонтно-восстановительная база предприятия, склады, цехи и общезаводские отделы ремонтного хозяйства (технологический, оборудования, диспетчерский) [7].

Для обеспечения наиболее эффективного использования производственных мощностей необходимо выбрать рациональный вариант организации цехов по восстановлению рассматриваемого типа деталей. В ходе исследования были проанализированы рост потребности в ремонте, объем восстанавливаемых изделий, географические пункты, где возможно увеличение мощности ремонтных баз [3].

Полученные результаты исследования способов организации централизованного восстановления деталей класса «ВАЛ» позволяют выбрать в качестве рационального варианта организации цеха – постоянно-поточный, который обеспечит бесперебойную работу машин и оборудования, а так же позволит обеспечить выполнение поставленных объемов ремонта рассматриваемых деталей.

Литература

Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие / Р.И. Ли. - Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. − 379 с.

Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей: учебное пособие / П.К. Логинов, О.Ю. Ретюнский; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217 с.

Интернет источник : «ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИН»http://refleader.ru/yfsmermerbew.html

Технико-экономический анализ проектных решений. Учебное издание / Н.Н. Савченко. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 128 с.

Интернет-источник : «Анализ существующих технологических процессов восстановления валов» http://www.studfiles.ru/preview/5807443/page:6/

Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. Ч. 1. - М.: ГОСНИТИ, 1985. - 143 с.

Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса. Учебник для вузов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2015. – 248 с.
Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 604 с.

УДК 678.5-1

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ МАШИН НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Иван Александрович Кузнецов

Магистрант2-ого года
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»

Корпусные детали относятся к наиболее ответственным и дорогостоящим узлам в конструкции машины в целом. Одной из основных причин их выбраковки является износ посадочных поверхностей под подшипники качения, поэтому разработка и исследование нового технологичногопроцесса восстановления посадочных мест является актуальной задачей.
Изнашивание подшипниковых узлов происходит в результате сложных процессов, протекающих на сопрягаемых поверхностях корпусных деталей и наружных колец подшипников, которые приводят к образованию различных дефектов, таких как окислы, сколы, трещины. Однако основными причинами износа являются проворачивание наружных колец и фреттинг-коррозия.Существующие методы восстановления, такие как напыление, наплавка, электроискровое наращивание, отличаются сложностью, потребностью в дорогостоящем технологическом оборудовании, высокой трудоемкостью, энергоемкостью и себестоимостью, так же все они не предотвращают фреттинг-коррозию сопрягаемых поверхностей. Применение полимерных нанокомпозицийисключает описанные выше недостатки и может быть использовано взамен традиционным способам восстановления[1].
При восстановлении подшипниковых узлов полимерными материалами на поверхности посадочного места формируется упругий промежуточный слой, деформация которого способствует более равномерному распределению нагрузки между телами качения, что в конечном итоге приводит к повышению долговечности подшипников и увеличению ресурса техники [2].Однако и полимерные материалы имеют свои недостатки, такие как относительно невысокие упругие свойства и прочностные характеристики, стойкость к вибрационным нагрузкам, старению и рабочим жидкостям. Но в результате процесса модифицирования полимерного материала наполнителями можно значительно улучшить основные механические и эксплуатационные свойства [2, 3].
Для исследований использовались импортный анаэробный герметик Loctite-660 и его отечественный аналог Анакрол-102. Их модифицировали наиболее распространенными наполнителями – наноразмерным оксидом алюминия альфа типа со средним размером частиц 80 нм (далее – Al_2O_3) и многослойными углеродными нанотрубками DEALTOM со средним диаметром 49 нм (далее – УНТ). Оптимальная концентрация наполнителей определялась экспериментально.

Для полимерного материала, работающего в соединении «посадочное место – наружное кольцо подшипника», наиболее приемлемой является оценка прочности по нормальным и касательным разрушающим напряжениям, основанная на определении прочности соответственно при отрыве и сдвиге полимерного слоя.

Экспериментальные исследования показали, что наномодифицирование составов Loctite-660 и Анакрол-102 УНТ и Al_2O_3 привело к увеличению значения прочности до 67,2 %. Так же были получены оптимальные составы нанокомпозиций. Так, при наполнении составов наночастицами Al_2O_3, наилучшие показатели достигались при концентрации 0,1%, а УНТ – 0,5% по массе. Результаты исследований также показали, что в нанонаполненных составах превалирует когезионное разрушение, т.е. увеличение разрушающих напряжений происходит за счет увеличения адгезионной составляющей прочности.

Анализ работ [1, 2] показал, что прочностные характеристики полимерных составов уменьшаются с увеличением толщины клеевого шва.С целью подтверждения этой теории, были проведены исследования по определению зависимости адгезионной прочности, которая оценивалась по нормальным разрушающим напряжениям, от толщины клеевого шва анаэробных составов Loctite-660 иАнакрол-102, а также нанокомпозиций на их основе. Исследования позволили сделать заключение, что увеличение толщины клеевого шва приводит к снижению прочности анаэробных герметиков. Интенсивность снижения прочности при этом у нанокомпозиций ниже, чем у ненаполненных анаэробных составов до 15,8 %.

Таким образом, одним из перспективных способов восстановления посадочных мест под подшипники качения является использование полимерных нанокомпозиций, амодифицирование исходных материалов наночастицами позволяет существенно повысить их основные механические и эксплуатационные свойства.

Литература

1. *Курчаткин В.В.* Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис. ... докт. техн. наук. М., 1989.

2. *Ли, Р.И.* Применение полимерных материалов в подшипниковых узлах при изготовлении и ремонте машин [Текст]: монография / Р.И. Ли. – М.: Мичуринск, Издательство МичГАУ, 2010.

3.*Гусев А.И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, Москва, 2005.

УДК 658.588.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАЛЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Вадим Алексеевич Курчик

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.И. Кушнарев,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии восстановления материалов»

Россия имеет огромный потенциал в горнодобывающей, машиностроительной, сельскохозяйственной и многих других отраслях экономики. Большая часть техники – ремонтопригодна и нередко выходит из строя. Проблемы ремонта, восстановления и поддержания техники в работоспособном состоянии являются ещё более актуальными и решаются системой инженерно-технического обеспечения (ИТО) машинно-технологичных производств. Поэтому, на сегодняшний день остро выражена проблема организации

специализированых подразделений и служб по восстановлению работоспособности технологических машин и оборудования. Кроме того, в сложившейся рыночной ситуации восстановление исправности технологических машин и оборудования позволит обеспечить требуемый уровень их работоспособности, без значительного увеличения затрат на их приобретение. Это позволит снизить потребности народного хозяйства в технике.

Инженерно-техническое обеспечение (технический сервис) технологического оборудования осуществляют на предприятиях инженерно-технические службы (ИТС) и отделы главных механиков (ОГМ), а также сервисные предприятия и организации, в лице производственно-технических кооперативов, ассоциаций и других формирований по производству, поставке и эксплуатации машин и оборудования. В совокупности инженерно-технические службы предприятий по производству, использованию и техническому сервису машин и оборудования представляют собой сложную взаимосвязанную систему по обеспечению машиноиспользования.

Система ИТО включает в себя изучение спроса потребителей, рекламу, своевременную и достоверную информацию о машинах и оборудовании; предпродажную подготовку, доставку, сборку, монтаж и наладку техники; обучение эксплуатационно-ремонтного персонала; своевременное обеспечение потребителей ремонтно-технологическим оборудованием, запасными частями, сменяемыми узлами, агрегатами, инструментом и материалами; проведение технического обслуживания и ремонта; экономическую гарантию качества и надежности новой и отремонтированной техники, ответственность за выполнение работ и услуг.

Основой для эффективного решения задач обеспечения работоспособности технологического оборудования малых производств является совершенствование и правильный выбор рациональных форм и методов организации технического сервиса. В настоящее время наиболее распространены и применяются следующие формы и методы организации технического сервиса: собственными силами и средствами предприятий эксплуатирующих оборудование; силами и средствами предприятий технического сервиса; силами и средствами предприятий-изготовителей технологического оборудования; комбинированные методы на основе рационального распределения видов и объемов работ между всеми возможными исполнителями.

Наиболее перспективными формами и методами организации технического сервиса технологического оборудования являются формы, в основу которых положен фирменный метод технического сервиса, обеспечивающий повышение качества изготовления и показателей надежности выпускаемых машин и оборудования на протяжении всего их жизненного цикла. На выбор рациональных форм и методов организации технического сервиса влияет большое количество факторов: технических, технологических, организационных и экономических.

Полученные результаты исследования форм и методов организации технического сервиса технологического оборудования позволяют в качестве основного направления инновационного развития технического сервиса – внедрение форм организации технического сервиса, основанных на фирменном методе технического сервиса технологического оборудования малых производств.

Литература

1.*Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В.* Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса. Учебник для вузов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2015. – 248 с.

2.Интернет источник : «Организация ремонта и технического обслуживания машин»http://refleader.ru/yfsmermerbew.html

3. *Кушнарев Л.И.* Фирменный технический сервис машин и оборудования. Проблемы. Поиски. Решения. Монография. Palmarium. Academic publishirig. – 2014.

4. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 604 с.
5. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания машин и оборудования животноводства (система ППРТОЖ). - М., 1988. - 144 с.
6. *Кушнарев Л.И.* Организация работы подразделений по ТО и ремонту МТП сельхозпредприятий и МТС. Методические указания по выполнению курсовой работы. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ. – 2012. – 25 с
7. *Чепурина Е.Л.* Состояние организации технического сервиса машин и оборудования животноводства. //Международный технико-экономический журнал № 4, 2013. ООО «Спектр». С. 61–67.
8. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. Ч. 1. - М.: ГОСНИТИ, 1985. - 143 с.

УДК 620.193.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРЕТТИНГОСТОЙКОСТИ БРОНЗОВЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Ашот Тельманович Мартиросян

Студент 4 курса,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.Н. Задорожний,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Одной из основных причин отказа неподвижных соединений агрегатов автомобильной техники является нарушение посадки. Причина этого – процесс фреттинг-коррозионного изнашивания, возникающий в неподвижных соединениях деталей с ограниченным доступом кислорода при одновременно действующих высоких эксплуатационных знакопеременных статических нагрузках и вибраций малых частот и амплитуд.

В условиях производства одним из способов снижения до минимума влияния процесса фреттинга на детали, работающих в неподвижных соединениях, является создание специальных покрытий. Методами получения таких покрытий могут быть электроискровая обработка (ЭИО) и холодное газодинамическое напыление (ХГДН).

Исследование фреттинг-коррозионного изнашивания покрытий ЭИО бронзой марки БрКМц3-1, ХГДН порошком марки С-01-01 и эталонных образцов из стали 40Х осуществлялись в соответствии с ГОСТ 23.211-80 [1] на лабораторной экспериментальной установке исследования фреттингостойкости. Каждый вид сопряжения был исследован на трех образцах.

Исследования проводились в условиях капельной смазки (масло М10$Г_2$К)при нагружении 400 Н и без смазки – при нагружении 200 Н. Поверхности исследуемых образцов отшлифовывались до Ra 0,1…0,32, подвергались взвешиванию до и после эксперимента на лабораторных аналитических весах. Частота и время нагружения фиксировались в процессе эксперимента. При достижении $1{,}5 \cdot 10^6$ циклов нагружения определялась величина износа и рассчитывалась интенсивность изнашивания по выражению:

$$I_w = \frac{\sum_{1}^{k} W_i}{2ANk},$$

где *Wi* – линейный износ *i*-го образца, м; *A* – амплитуда, мкм; N – количество циклов; *k* – количество образцов.

Среди испытанных сопряжений с покрытиями наилучшие показатели фреттинг-коррозионной стойкости были определены у сопряжения «сталь 40Х+ЭИО (БрКМц3-1) – сталь 40Х». Интенсивность износа в сравнении с эталонным сопряжением «сталь 40Х – сталь 40Х» в условиях сухого трения в 1,02 раза меньше, а в условиях смазки капельным методом больше в 4,65 раза.

У сопряжения «сталь 40Х+ХГДН (С-01-01) – сталь 40Х», фреттинг-коррозионная стойкость по сравнению с эталонным сопряжением «сталь 40Х – сталь 40Х» уменьше в условиях сухого трения в 3,4 раза, а в условиях смазки капельным методом в 8,9 раза. То есть сопряжение с покрытиями ХГДН обладает более низкой стойкостью к процессам фреттинга, чем сопряжения с покрытиями ЭИО.

Литература

1. *ГОСТ 23.211-80*. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии. - М.: Изд-во стандартов, 1980. 16 с.

2. *Задорожний Р.Н.* Совершенствование технологии восстановления шатунов с косым разъемом: дис. … канд. техн. наук. М., 2012. 252 с.

3. *Денисов В. А.* Восстановление базовых деталей дизельных двигателей с аварийными дефектами покрытиями на основе композиционных материалов : автореф. дис. … док. техн. наук. М., 2015. 39 с.

УДК 621.791.927.5

УПРОЧНЕНИЕ ПЛУЖНОГО ЛЕМЕХА ДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ

Никита Эдуардович Митрофанов

Магистр1года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Д.Б. Слинко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Ускоренное изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин изменяет конструктивные параметры деталей, снижает качество обработки почвы, увеличивает тяговое сопротивление агрегатов и простои машин, связанные с заменой изношенных деталей. В связи с этим разработка материалов повышенной износостойкости и новых эффективных технологий упрочнения рабочих органов при их изготовлении является в настоящее время актуальной задачей[1].

Основным орудием для вспашки почв является плуг, в котором закреплен лемех(рис.1). Для изготовления лемехов применяют стали Л53, Л65 и Л65Г, в последнее время для изготовления лемехов применяют высокопрочный чугун марки ВЧ50.

Рис. 1 Долотообразный плужный лемех

Одной из причин преждевременного выхода из строя плужных лемехов является их износ вследствие абразивного воздействия почвы, при этом интенсивность их износа зависит от структуры почв. Для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, в том числе и лемехов, применяется достаточно много способов [1].

Перспективным направлением развития технологии упрочнения быстро изнашиваемых деталей, в том числе и лемехов, является нанесениедуговой наплавкой твердыми сплавами износостойких покрытий в виде прямолинейных или дугообразных валиков, ширина которых меньше расстояния между ними, что изменяет геометрические параметры поверхности трения [2]. Данная технология прерывистой наплавки отдельными дугообразными валиками по определенной схеме была использована при упрочнении лемеха.

По результатам ранее проведенных исследований по упрочнению лемехов наплавленными валиками установлено, что наилучшие результаты по снижению интенсивности изнашивания обеспечивает порошковая проволока марки EnDOtecDO*30 Ø1,2мм фирмы «EutecticCastolin» с содержанием бора(B) около 4%. Твердость наплавленного валика 63-65HRC.

В процессе проведенной работы была отработана технология наплавки валиков: подобраны режимы наплавки (напряжение, сила сварочного тока, скорость наплавки) и параметры режима заварки кратера. В результате были получены валики необходимого размера и формы (рис.2).

Рис. 2. Упрочненние лемеха плуга электродуговой наплавкой дугообразными валиками

Дляреализации данного методабыло использована установка, работающая в автоматическом режиме по заданной программе в соответствии со схемой расположения валиков, и сварочный полуавтомат инвентарного типа с синергетическим управлением с функцией заварки кратера.

Универсальность метода и конструкция установки позволяют упрочнять лемеха плугов разных размеров и конфигураций, а также позволяет переналадить оборудование под другой тип деталей. Использование метода нанесения на рабочую поверхность износостойких валиков электродуговой наплавкой позволяет внедрить эту технологию для разных типоразмеров плужных лемехов в крупносерийное или массовое производство.

Литература

Ляпякин В. П., Соловьев С.А, Аулов А.В. Состояние и перспективы упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами/ Сварочное производство. 2014. №7. С. 32-36.

Ожегов Н.М., Капошко Д.А., Будко С.И. Способ получения износостойкой рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих машин: пат. 2414337 Российская Федерация. 2011. Бюл. № 8. 13 с.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ

Даниил Михайлович Некрасов

Студент 4 курса,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.Б. Слинко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В процессеэксплуатации почвообрабатывающих машин и агрегатов ихрабочие поверхности подвергаются неравномерному изнашиванию, чтоснижает ресурс деталей и увеличивает затраты на их замену и обновление. Скорость изнашивания рабочих поверхностей зависит от механического состава почвы, ее плотности в зоне контактного взаимодействия, а также свойств поверхности трения при ее относительном перемещении.

Ускоренное изнашивание рабочих поверхностей изменяет конструктивные параметры деталей, снижает качество обработки почвы, увеличивает тяговое сопротивление агрегатов и простои машин, связанные с заменой изношенных деталей. В связи с этим разработка материалов повышенной износостойкости и новых эффективных технологий упрочнения рабочих органов при их изготовлении является в настоящее время актуальной задачей.

Наиболее универсальной технологией для нанесения износостойких покрытий является дуговая наплавка твердыми сплавами, целесообразность применения которой зависит от степени нагрева упрочняемых деталей и затрат на твердые сплавы. В связи с этим совершенствование наплавочной технологии получения самозатачивающихся лезвий и создание рабочих органов почвообрабатывающих машин повышенной долговечности путем нанесения твердых сплавов является весьма перспективным направлением повышения ресурса почворежущих рабочих органов [1].

К недостаткам применяемых методов нанесения твердых сплавов относится высокая энергоемкость и увеличенный расход наплавочных материалов, что повышает технологические затраты на упрочнение деталей при их изготовлении.

Перспективным направлением развития технологии упрочнения быстро изнашиваемых деталей дуговой наплавкой твердыми сплавами является нанесение износостойких покрытий в виде прямолинейных или дугообразных валиков, ширина которых меньше расстояния между ними, что изменяет геометрические параметры поверхности трения [2].

Данная технология прерывистой наплавки отдельными дугообразными валиками по определенной схеме была использована при упрочнении лап культиватора [3].

По результатам ранее проведенных исследований по упрочнению лемехов наплавленными валиками установлено, что наилучшие результаты по снижению интенсивности изнашивания обеспечивает порошковая проволока марки EnDOtecDO*30 Ø1,2мм фирмы «EutecticCastolin» с содержанием бора(B) около 4%. Твердость наплавленного валика 63-65HRC.

В процессе проведенной работы была предварительно отработана технология наплавки валиков на опытных образцах - подобраны режимы наплавки (напряжение, сила сварочного тока, скорость наплавки), а также параметры режима заварки кратера. В результате были получены валики необходимого размера и формы.В дальнейшем подобранный режим использовался при наплавке валиков непосредственно на поверхности лапы культиватора (рис.1).

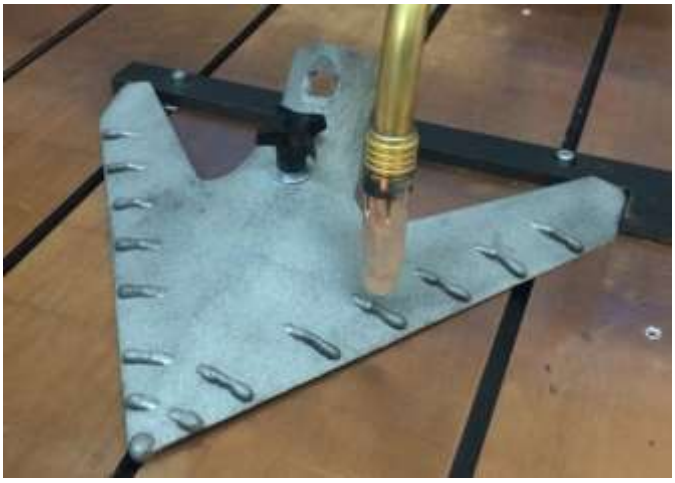


Рис.1. Упрочненная лапа культиватора электродуговой наплавкой.

Дляреализации данного методабыл использован сварочный полуавтомат инвентарного типа с синергетическим управлением с функцией заварки кратера, а также установка, работающая в автоматическом режиме по заданной программе в соответствии со схемой расположения валиков.

Универсальность метода и конструкция установки позволяет упрочнять лапы культиваторов разных размеров и конфигураций, а также позволяет переналадить оборудование под другой тип деталей. Использование метода нанесения на рабочую поверхность износостойких валиков электродуговой наплавкой позволяет внедрить эту технологию для разных типоразмеров лап культиваторов в крупносерийное или массовое производство.

Литература

1. *Лялякин В. П., Соловьев С.А, Аулов А.В.* Состояние и перспективы упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами/ Свароч. про-во - 2014. - №7.

2. Патент РФ №2414337 Способ получения износостойкой рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих машин/ Н.М.Ожегов,Д.А.Капошко,С.И.Будко

3. *Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Капошко Д.А.*Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий// Труды «ГОСНИТИ». - 2015. - 191-197 с.

УДК 621.7

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКРЕБКОВ РОТОРА БЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ СБ-138

Алексей Валерьевич Новиков

Студент 3 курса,

кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.А.Сережкин,
ассистент кафедры «Технологии обработки материалов»

Бетоносмеситель – строительная машина, предназначенная для приготовлениябетонныхсмесей для строительных объектах. Наиболее широко распространены бетоносмесители двух видов: гравитационный и принудительного действия.
Гравитационные бетоносмесители состоят из барабана с лопастями. Барабан непрерывно вращается, за счёт чего происходит перемешивание и увеличивается время застывания бетона.
Бетоносмесители принудительного действия также оснащены барабаном илопастями, но основное отличие в том, что вращается не барабан, а сами лопасти, за счёт чего происходит перемешивание бетона.
Слабой стороной конструкции бетоносмесителей является скребок, подвергающийся абразивному износу. Скребок –предназначен дляочистки внутренней стенки стакана от бетонной смеси в процессе перемешивания. Материал скребка – сталь 65Г ил 45Л. За срок эксплуатации до замены (около 1 месяца) скребок теряет до 10% своей начальной массы. Фотография изношенных скребков представлена на рис. 1.

Рис. 1. Фоторгафия скребка после эксплуатации в течение одного месяц.

Существуют способы восстановление деталей с большим износом намораживанием, наплавкой и т. д.[1], но возможность их применения затруднена из-за большой трудоемкости. В работе предлагается следующее способы увеличение срока службы нового скребка бетоносмесителя СБ-138:
1. Наплавка матриалами обеспечивающими большую износостойкость при абразивном изнашивании: Т-590; TeroMatec 4923, ОЗН-300М, ЦНИИН-4 и т.д., а также с использованием ферромагнитной шахты;
2. Напыление защитных покрытий: электродуговым, индукционным, плазменным или другим способом;
3. Использование химико-термической обработки: борирование, цементация, нитроцементация и т.д.

4. Нанесение покрытий: твердосплавные покрытия WOCAFIX, элетроискровое легирование, галиванические покрытия и т.д.[2]
5. Использование дополнительных ремонтных деталей, изготовленных из материалов стойких к абразивному износу: отбеленные чугуны, полимерные материалы (полиуретаны), керамики и т.д.[3].
6. Изготовление скребков из материалов стойких к абразивному износу: стали марок 18ХГНМФР, 25ХГН3МФБ, отбеленные чугуны, полиуртаны и т.д.
В работе предлагается оригинальный способ увеличение срока службы скребка бетоносмесителя СБ-138 за счет установки дополнительной ремонтной детали из износостойких материалов, что позволяет повысить его срок службы и уменьшить стоимость замены скребков.

Литература
1. Восстановление деталей машин. Ф.И. Пантелеенко В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов.
2. Нанесение твердосплавных покрытий WOCAFIX: [Электронный ресурс] // Инжиниринговая компания ТЕСИС. URL: http://www.tesis.com.ru/infocenter/downloads/dme/hmb80.pdf.
3. *Гаркунов Д.Н., Коник П.И.* Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин. М.: МСХА, 2003.

УДК 53.084.823

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ НАПЛАВКА БАЛАНСИРОВ ГУСЕНИЧНОЙ ТЕХНИКИ

Владислав Алексеевич Павлов

Студент4курса
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Д.Б. Слинко,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

В настоящее время гусеничная техника находит широкое применение во многих отраслях промышленности, включая строительную, добывающую, военную, сельское хозяйство, что позволяет считать реновацию её составных частей актуальной задачей.
Данная работа посвящена восстановлению балансира боевой машины пехоты (БМП) методом плазменно-порошковой наплавки.
Балансир является элементом подвески БМП (рисунок 1) и работает в условиях абразивно-ударного износа, что приводит к износу оси катка в среднем не более 0,2 мм и износу оси балансира – не более 0,4 мм. Кроме того, в процессе эксплуатации также происходит их коррозионный износ.

Рис.1. Балансир БМП:
1 – ось балансира, 2 – рычаг, 3 – ось катка.

В связи с относительно малыми износами восстановление изношенных поверхностей балансира осуществлялось методом плазменно-порошковой наплавки с подачей порошка снаружи плазмотрона [1].

Отличительной особенностью плазменной наплавки порошкообразным присадочным материалом по сравнению с дуговой наплавкой плавящимся электродом является возможность независимого регулирования электрических параметров дуги и подачи присадочного материала, что обеспечивает возможность снижения перемешивания присадочного металла с основным, что особенно важно при нанесении высоколегированных сплавов с нержавеющими, жаропрочными и другими свойствами. Помимо данных достоинств, плазменно-порошковая наплавка отличается хорошим формированием наплавленных валиков, стабильностью и высокой воспроизводимостью их размеров. В результате плазменно-порошковая наплавка позволяет добиться требуемой твёрдости и заданного химического состава наплавленного металла уже на расстоянии 0,3-0,5 мм от поверхности сплавления.

Все работы по плазменно-порошковой наплавке изношенных поверхностей балансира проводились с использованием установки, разработанной на базе переоборудованного токарного станка 16К20.

Механическая обработка балансиров осуществлялась на токарном станке мод. 165, на котором был установлен комплект специализированной оснастки для закрепления детали в станке.Частота вращения обрабатываемой поверхности n=90об/мин, продольная подача s=0,2 мм/об.

При отработке технологии наплавки в качестве присадочных материалов применялись различные марки порошков на основе Ni, Co, Fe и Cu: ПГ-НХЧ-31, ПР-Н9Г4СР(ФМИ-5) и ПГ-НХЧ-22 в различных комбинациях и соотношениях. По результатам проведенных экспериментов в качестве присадочного материала была подобрана смесь порошков ПГ-НХЧ-31 и ПР-Н9Г4СР(ФМИ-5) в соотношении 60:40. Величина фракции порошков составляла 80-160 мкм.

В процессе отработки технологии были экспериментально определены режимы наплавки: ток наплавки – 190-220 А; напряжение дуги – 22 В; общий расход смеси порошков – 60 г/мин; расход защитного газа – 7-8 л/мин; расход плазмообразующего газа – 2-4 л/мин; расход охлаждающей воды – 3-4 л/мин; продольная подача – 4 мм/об; скорость вращения детали – 6 об /мин.

Разработанная технология наплавки обеспечивает получение бездефектного наплавленного слоя толщиной до 1,5 мм с минимальной волнистостью поверхности и твердостью в диапазоне 280-360 НВ.

После наплавки проводилась механическая обработка шеек точением на станке модели 165 на тех же режимах, что и при предварительной обработке, после чего производился визуальный контроль качества наплавленных шеек осей балансира и катка и последующая их финишная

обработка лепестковым шлифовальным кругом типа КЛ 200х30х32 с частотой вращения 3000 об/мин.
В результате проделанной работы был разработан технологический процесс восстановления балансира в соответствии с требованиями ремонтного чертежа.

Литература
1.Способ плазменной наплавки: пат. 2479392 Рос. Федерация: МПК B23K 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 620.194.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ

Егор Олегович Рещиков

Студент 4 курса,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.А. Денисов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Для оценки работоспособности восстановленныхтрибосопряжений необходимо проводить испытания на износостойкость.
Одним из основных видов изнашивания неподвижных соединений типа вал – втулка, входящих в состав большинства машин и механизмов, является изнашивание при фреттинг-коррозии. Фреттинг-коррозия – процесс разрушения плотно контактирующих поверхностей в результате малых колебательных относительных перемещений. Разрушение заключается в образовании на соприкасающихся поверхностях мелких язвин и продуктов коррозии в виде налета, пятен, порошка [1].
Данный вид изнашивания характерен для сопряженных поверхностей валов и напрессованных на них деталей, вкладышей подшипников, шпоночных и шлицевых соединений, опор силоизмерительных устройств, опорных поверхностей пружин, затянутых стыков, заклепочных и болтовых соединений.
Исследование фреттинг-коррозионной стойкости материалов проводится в соответствии с ГОСТ 23.211-80 [2] на рекомендованной установке МФК-1.
Сущность методики состоит в том, что цилиндрический подвижный образец (контрообразец), соприкасающийся торцом с неподвижным образцом из исследуемого материала, при заданном давлении приводится в возвратно-вращательное движение с заданными амплитудой и частотой. Величина износа образцов определяется после проведения испытаний массовым методом.
Одним из основных недостатков установки МФК-1 является невозможность измерения в процессе испытания силы трения и коэффициента трения – основных параметров, характеризующих процесс трения и изнашивания.
Определение коэффициента трения в процессе испытания позволяет оценить переменные касательные напряжения, вызванные микроперемещениями при фреттинге, более глубоко изучить процессы, протекающие в процессе изнашивания, механизмы борьбы с фреттинг-коррозией.
В работе решается задача по расширению функциональных возможностей экспериментальной установки для испытания материалов на изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии,

разработанной 1998 г. в лаборатории № 11 ВНПО “Ремдеталь”, путем внедрения технологии непрерывной регистрации силы трения.

Литература

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (износ и безызносность): Учебник. — 4-е изд.,перераб. и доп. — М.: «Издательство МСХА», 2001. 616 с., ил. 280.
2. ГОСТ 23.211-80. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии. - М.: Изд-во стандартов, 1980.- 16 с.

УДК 539.3

ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ДЛЯ РАСЧЕТА ИЗДЕЛИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Александр Александрович Романов

Магистр 2 года
кафедра «Прикладная математика»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Манжиров,
доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Прикладная математика»

В работе рассматривается одномерная задача механики растущих тел и предлагается метод ее решения на основе метода конечных элементов (МКЭ). Задача состоит в определении напряженно-деформированного состояния упругого растущего полого цилиндра (трубы) в случае плоской деформации и осевой симметрии. На внутреннюю поверхность цилиндра действует распределенное давление $p(t)$, а к внешней поверхности происходит приток материала, осаждающегося с натягом или без, вследствии чего внешний радиус цилиндра увеличивается. Зависимость $p(t)$ может быть как непрерывной, так и гладкой функцией. Основные уравнения записаны относительно скоростей основных величин. Решение задачи ищется в предположении о малости деформаций и изотропности материала цилиндра.
В ходе работы получены численные значения в конечном наборе точек и аналитические зависимости для функций напряжений, деформаций и радиального перемещения. Решение, полученное в ходе моделирования, численно равно аналитическому, что дает возможность предположить высокую сходимость метода. Можно полагать, что рассматриваемый подход применим для расчета и более сложных задач. Представлены графики напряжений, деформаций и радиального перемещения. Рассмотрено влияние различных функций формы на численное решение. Для расчетов использовалась среда Matlab, а также была написана программа на языке C++ для более быстрого поиска решения.
Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-19-01257).

Литература

Lychev S.A., Manzhirov A.V., Bychkov P.S. Discrete and continuous growth of deformable cylinder //Transactions on Engineering Technologies. – Springer Netherlands, 2015. – С. 239-254.
Lychev S.A., Manzhirov A.V. The mathematical theory of growing bodies. Finite deformations //Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2013. – Т. 77. – №. 4. – С. 421-432.
Epstein M., Maugin G.A. Thermomechanics of volumetric growth in uniform bodies //International Journal of Plasticity. – 2000. – Т. 16. – №. 7. – С. 951-978.
Lamé G. Leçons sur la théorie mathématique de l'elasticité des corps solides par G. Lamé. – Gauthier-Villars, 1866.

Yavari A. A geometric theory of growth mechanics //Journal of Nonlinear Science. – 2010. – Т. 20. – №. 6. – С. 781-830.
Sozio F., Yavari A. Nonlinear mechanics of surface growth for cylindrical and spherical elastic bodies //Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 2017. – Т. 98. – С. 12-48.
Manzhirov A.V., Lychev S.A. Mathematical modeling of growth processes in nature and engineering: A variational approach //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2009. – Т. 181. – №. 1. – С. 012018.
Zabaras N., Liu S. A theory for small deformation analysis of growing bodies with an application to the winding of magnetic tape packs //Acta mechanica. – 1995. – Т. 111. – №. 1. – С. 95-110.

УДК 631.172

К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Алексей Дмитриевич Севостьянов *(1)*, ***Иван Александрович Чепурин*** *(2)*

Магистр1года(1), студент 3 курса (2),
кафедра «Технический сервис машин и оборудования»
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Научный руководитель: А.В.Чепурин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис машин и оборудования»

Высокий уровень физического и морального износа машинно-тракторного парка – активной части основных средств механизации процессов производства сельхозпродукции неизбежно ведет к существенному снижению результатов деятельности агропредприятий и фирм. Образующийся дефицит финансовых средств не позволяет своевременно, качественно и в полном объеме выполнять операции технического сервиса по обеспечению исправности и работоспособности машин и оборудования, частичного или полного восстановления ресурса их основных узлов и агрегатов. Это не позволяет также использовать технологические возможности специализированных предприятий технического сервиса, способных обеспечить более высокий качественный уровень сложных ремонтных работ[1, 2].

В свою очередь, из-за низкого уровня загрузки производственных мощностей районных и региональных предприятий технического сервиса они вынуждены изыскивать возможности их возможности. Одним из путей повышения эффективности деятельности предприятий технического сервиса и эффективного использования производственных площадей и имеющегося контрольно-диагностического оборудования является проведение технических осмотров самоходной сельскохозяйственной техники. Необходимость организации их проведения обусловлена тем, что более 80 % имеющегося в хозяйствах машинно-тракторного парка и, в первую очередь, энергомашины: тракторы, самоходные комбайны и косилки, приводные машины, устройства и другие, эксплуатируются в хозяйствах с высокой интенсивностью и загрузкой далеко за пределами нормативно установленных сроков службы. Это снижает безопасность и экологичность их эксплуатации, что может привести не только к загрязнению окружающей среды, но и к несчастным случаям на производстве. Поэтому в соответствии с принятым регламентом органы управления обязаны осуществлять контроль за техническим состоянием сельхозтехники. В направлении совершенствования организации технических осмотров машин и оборудования целесообразно перейти на их выездную форму. Это в значительной степени снизит затраты хозяйств на проведение осмотров машин и оборудования, исключит их ненужные передвижения по высоко загруженным трассам и дорогам[3, 4].

Другим позитивным направлением является предоставление специализированными ремонтно-техническими предприятиями услуг по изготовлению запасных частей и восстановлению

изношенных деталей, восстановлению ответственных сопряжений кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, систем топливо- и воздухоподачи и других элементов. Необходимость повышения эффективности технологических процессов восстановления поверхностей деталей клапанной группы ГРМ двигателей внутреннего сгорания требует применения современного оборудования и материалов. Основными требованиями к применяемому технологическому оснащению являются получаемое высокое качество обрабатываемых поверхностей деталей по точности обработки и расположения, шероховатости. Особенно эти требования высоки к финишным операциям технологического процесса[5].

В то же время, эффективность технологического процесса восстановления работоспособности газораспределительных механизмов зависит от производительности технологического оборудования и оснастки, их стоимости и загрузки. Наличие этих требований указывает на необходимость совершенствования технологического процесса и оборудования с их учетом. Кроме того, заключительные операции должны иметь возможность выполняться как в стационарных, так и полевых условиях эксплуатации сельхозтехники[6].

В сложившихся условиях предприятиям технического сервиса агропромышленного комплекса необходимо усилить маркетинговую работу по изучению рынка техники и технических услуг, изыскивать любые возможности повышения загрузки и эффективности использования имеющего производственно-технического потенциала: площадей, оборудования, персонала. Обеспечение требуемого уровня качества и доступности продукции и услуг технического сервиса повысит эффективность их функционирования [7].

Литература

Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. Ч. 1. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 143 с.

Кушнарев Л.И. Инженерно–техническое обеспечение агропромышленного комплекса /Учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ. – 2012. – 175 с.

Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Проблемы модернизации системы инженерно–технического обеспечения агропромышленного комплекса//Тракторы и сельхозмашины. № 6. 2015. – С. 33–37.

Чепурин А.В. др. Модернизация системы технического сервиса агропромышленного комплекса. / Кушнарев Л.И., Корнеев В.М. Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Монография. /М.: МЭСХ, 2015. – 440 с.

*Чепурин А.В.*и др. Основы инженерно-технического обеспечения агропредприятий. / Кушнарев Л.И., Корнеев В.М. Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Учебник для вузов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2015. – 224 с.

*Чепурин А.В.*и др. Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса./ Кушнарев Л.И., Корнеев В.М. Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Учебник для вузов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2015. – 248 с.

Кушнарев Л.И. Организация работы подразделений по ТО и ремонту МТП сельхозпредприятий и МТС. Методические указания по выполнению курсовой работы. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ. – 2012. – 25 с.

УДК 631.173

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПРАВНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

Дарья Леонидовна Севостьянова

Магистр 2 года,
кафедра «Инженерная и компьютерная графика»
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Научный руководитель: Е.Л. Чепурина,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика»

Основным направлением повышения эффективности работы инженерно-технических служб (ИТС) является инновационная рациональная организация технического сервиса с оценкой результативности по уровню исправности обслуживаемых машин и оборудования животноводства хозяйства[1–2]. Работоспособность животноводческих машин и оборудования (способность удовлетворять заданным техническим характеристикам в течение определенного времени) может быть обеспечена своевременным и качественным техническим обслуживанием, предупреждающим внезапные остановки в процессе их работы.Восстановление основных характеристик оборудования обеспечивается ИТС предприятий и фирм, которая должна быть укомплектована квалифицированным персоналом, необходимой ремонтно-технической базой и современными техническими средствами диагностирования, инструментом для проведения своевременного и качественного обслуживания. Это позволит ей гарантировать безотказную работу машин и механизмов в течение требуемой наработки[3–5].

Для обеспечения эффективной производственной деятельности ИТСей предоставляется статус хозрасчетного подразделения с переводом на оплату труда в зависимости от конечных результатов деятельности – уровня готовности (исправности) парка обслуживаемых машин и оборудования, установив в качестве основного конечного показателя – *коэффициент технической готовности*. Полученные лимиты затрат по статьям расходов, установившиеся в хозяйстве позволяют определитьфонд оплаты труда коллектива: основную заработную плату и премирование и определить расценки за базисное значение $K_{TГ}$ и сверхбазисного (таблица 1)[4]

Таблица 1 – Расчет расценок для оплаты труда и премирования основных производственных рабочих

Тип машин и оборудования	Коллективный фонд оплаты труда, тыс. руб.			Значения КТГ, %		Расценка за 1 % КТГ, тыс. руб.	
	всего	в том числе		фактич. (за 3 года)	план.на след. год	до факти-ческого	от факт. до план.
		зарплата	премия				
Машины и оборудование животноводства	1586	1110,2	475,8	80	90	1,156	3,965

Полученные значения фондов оплаты и стимулирования труда распределяются между членами трудового коллектива бригады в соответствии трудовым вкладом каждого работника, который устанавливается по значению коэффициента трудового участия (КТУ).

Высокоэффективная рациональная организация работы ИТС животноводства позволяет существенно повысить коэффициент готовности машин и оборудования хозяйства (на примере ООО «Малино-Фризская») (рисунок 1), обеспечить рост объемов производства высококачественной молочной продукции при снижении затрат на технический сервис и убытков от простоев оборудования по техническим причинам.

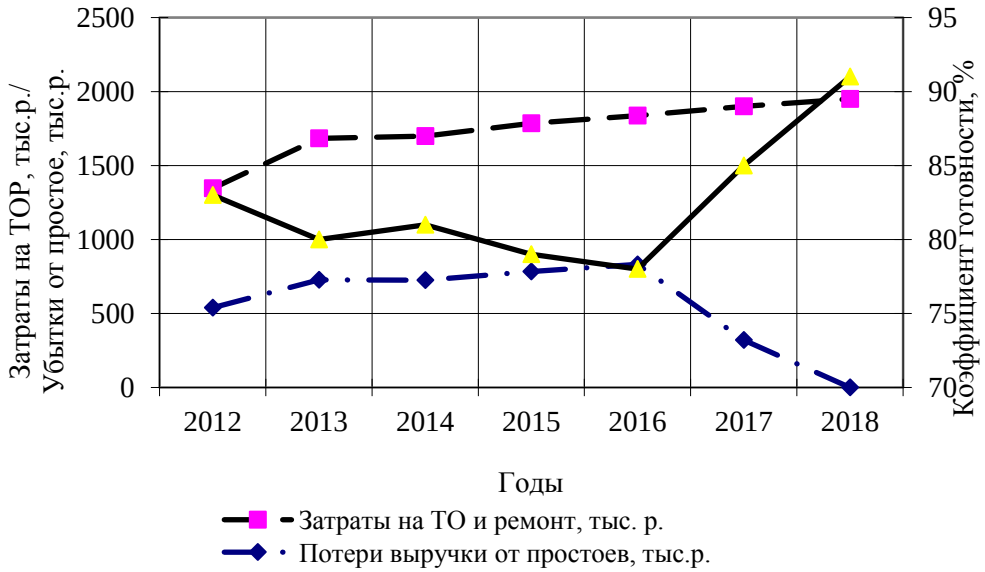


Рис. 1 – Эффективность рациональной организации
инженерно-технической службы в животноводстве

В результате оценки экономической эффективности от внедрения проекта совершенствования организации технического сервиса машин и оборудования получена годовая экономия в размере около 4,5 млн. руб. за счет снижения себестоимости работ, что позволяет окупить единовременные капиталовложения в течение 0,24 года[5]. Кроме того, своевременное и качественное проведение операций технического сервиса позволит полностью исключить экономические потери хозяйства из-за недополучения и снижения качества производимой сельскохозяйственной продукции в размере более 860,0 тыс. руб.

Литература

Чепурина Е.Л. Состояние организации технического сервиса машин и оборудования животноводства. //Международный технико-экономический журнал № 4, 2013. ООО «Спектр». С. 61–67.

Чепурина Е.Л. Инженерно-техническое обеспечение повышения объемов производства и качества молока. // Международная научная конференция, посвященная 200-летию Н.И. Железнова. – 2016.

Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса. Учебник для вузов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2015. – 248 с.

Чепурина Е.Л. Состояние организации технического сервиса машин и оборудования животноводства. //Международный технико-экономический журнал № 4, 2013. ООО «Спектр». С. 61–67.

Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарев С.Л. Проблемы технологической модернизации системы технического сервиса машин и оборудования АПК. «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК». Материалы Международной научно–практической конференции 15–17 октября 2015 года. Издательство «2Д Мичуринск». С. – 297–305.

УДК 621.774.3

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСОБОТОЧНЫХ ТРУБ ВОЛОЧЕНИЕМ

Екатерина Артуровна Франк

Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С. М. Карпов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Одним из способов, обеспечивающих производство высокоточных труб, является волочение. Широкое применение процесса волочения определяется его известными преимуществами: высокой производительностью, более низкой в некоторых случаях стоимостью готовых труб, относительной простотой технологического инструмента и волочильного оборудования.

Показатели качества могут быть разделены на управляемые и неуправляемые. Отличительная особенность управляемых показателей качества состоит, в том что они могут изменяться в процессе производства. К таким показателем относят: текстуру металла, точность геометрических размеров, кривизна, шероховатость. Неуправляемые не могут быть изменены технологическим процессом волочения, например, химический состав обрабатываемого металла.

Из существующих четырех основных способов производства труб волочением только волочение труб на короткой неподвижной оправке имеет широкое применение благодаря высокой производительности, простоте инструмента и повышенному качеству труб[1].

Одними из способов повышения качества получаемых волочением труб является совмещение процесса волочения на короткой закрепленной оправке и раздачи, на рис. 1 представлены основные четыре таких способа волочения.

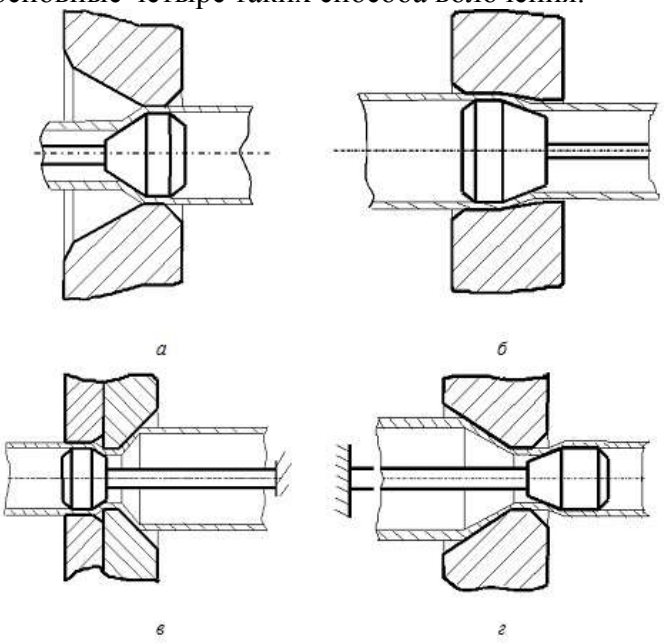


Рис 1. Способы особоточного волочения труб

Волочение труб с раздачей (на упор либо растяжением) широко применяется при производстве особотонкостенных нержавеющих труб. Обычное назначение-калибровка внутреннего диаметра. Как правило применяют незначительные величины раздачи то есть происходит

утонение стенки. Существует ряд разновидностей данного процесса,: а) Волочение труб с раздачей на неподвижной закрепленной конической оправке; б) Волочение труб с раздачей на плавающей (самоустанавливающей) волоке; в) Волочение труб с раздачей на конической неподвижной оправке через две волоки; г) Волочение труб с последующей раздачей.

Принципиально все способы волочения труб с раздачей характеризуются возможным варьированием схемой напряженно-деформированного состояния.

Способ (г) предусматривает редуцирование с дальнейшей раздачей за волокой [2]. То есть схема волочения состоит из безоправочного волочения и раздачи на закрепленной оправке за волокой, данный способ является наиболее перспективным в плане повышения качества холоднодеформированных труб, так как повышает не только точность геометрических размеров трубы, но и уменьшает ее кривизну.

Литература

1. *Савин Г. А*. Волочение труб. Учеб. Пособие для ПТУ-2-у изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1993. – 336 с.
2. Способ изготовления труб. Патент РФ 2066577/Дозорцев Ю.К., Ламин А.Б., Кричевский Е.М., Поклонов Г.Г. Заявл. 22.06.94; опубл. 20.09.96

УДК 621.7.06

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШКВОРНЕВЫХ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ МАРКИ УАЗ

Евгений Олегович Хрисанов

Студент 4 курса,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.А.Серёжкин,
ассистент кафедры «Технологии обработки материалов»

В работе представлена оригинальная технология восстановления работоспособности узлов типа сферическая опора на примере шкворневого узла автомобиля марки УАЗ в условия отсутствия запасных частей

Узел шкворня предназначен для обеспечения поворота колеса и обеспечение передачи ему крутящего момента. Узлы такого типа имеют широкое распространение и встречаются в автомобильной и железнодорожной технике.

Условия, в которых работает узел, тяжелые: присутствуют вибрации, знакопеременные нагрузки, наличие абразивных частиц, удары и т.д. Основной причиной выхода из строя является износ шкворневого вкладыша - медной прокладки, имеющей полусферическую форму. Восстановление работоспособности заключается в замене вкладыша на новый, но сменные вкладыши могут быть недоступны вслучае необходимости ремонта в условиях отсутствия запасных частей, например в условиях крайнего севера.

Предлагаемая технология восстановления работоспособности узла путем замены изношенного вкладыша на новый, изготавливаемый с помощью операций холодной листовой штамповки, причём матрицей инструмента для операции продольного обжима является опора шкворня. Особенностью представленной технологии также является использование силикона в качестве эластичной среды при осуществлении процесса продольного обжима, что позволяет:

– изготавливать тонкостенные изделия без потери устойчивости;
– исключить процесс механической обработки эластомера;

– обеспечить низкую стоимость восстановления.
Силикон хранится в жидком виде, а перед применением смешивается с отвердителем и заливается в форму.
Данный способ был успешно опробован в лаборатории кафедры МТ13 на опытных образцах имитирующих шкворневый узел автомобиля УАЗ. Полученные результаты свидетельствуют о перспективе применения как собственно способа восстановления, так и использования силиконов для выполнения некоторых операций холодной листовой штамповки.

Литература

Руководство по эксплуатации РЭ05808600.112-2009, ОАО "Ульяновский автомобильный завод", 2009 г.
Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т.4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. –2-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2010. 732 с.: ил.

УДК 621.7.043

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАРНОЙ ГИБКИ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Руслан Ринатович Шагалеев

Магистр 1года,
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»

В условиях современного производства для изготовления различных деталей летательных аппаратов широко применяют процессы гибки листовых заготовок. В условиях мелко- и среднесерийного производства изготавливать такие детали в инструментальных штампах экономически нерентабельно, поскольку увеличиваются затраты на изготовление сложных штампов и сроки производства.
В настоящее время эффективным и экономически целесообразным для изготовления большой номенклатуры деталей летательных аппаратов гибкой является применение листоштамповочных молотов, оснащённых дешёвыми и быстро изготавливаемыми свинцово-цинковыми штампами.
Целью научно исследовательской работы является исследование методов повышения размерной точности деталей и снижения упругого пружинения при гибке путем увеличения продолжительности ударного взаимодействия инструмента и заготовки, посредством удержания падающих частей молота в нижней точке при ударе при использовании специальных устройств. А так же для дальнейшей разработки предложений по модернизации конструкции падающих частей листоштамповочных молотов для увеличения размерной точности.
Целью проведенных исследований являлось изучение зависимости угла пружинения детали от радиуса скругления, угла гибки, материала заготовки и энергии удара при V- образной гибке на молоте (копре) в условиях целенаправленного увеличения продолжительности ударного взаимодействия при использовании специального устройства, обеспечивающего повышение эффективности ударного деформирования.
Гибку заготовок и определение параметров удара проводили на специальном комплексе для экспериментальных исследований процесса гибки на молоте (копре). Комплекс состоит из вертикального копра и системы скоростной видеосъемки.

Для проведения экспериментов была сделана матрица плана с помощью методов планирования экспериментов.

Таблица 1.Матрица плана эксперимента

№ опыта	Относительный радиус гибки	Угол гибки, °	Отношение массы шариков к массе бабы	Диаметр шариков, мм
1	0,5	60	0,11	1
2	1,5	60	0,21	6
3	2,5	60	0,31	12
4	0,5	90	0,21	12
5	1,5	90	0,31	1
6	2,5	90	0,11	6
7	0,5	120	0,31	6
8	1,5	120	0,15	12
9	2,5	120	0,25	1

Таблица 2. Результаты экспериментов

№ опыта	Толщина, мм	Угол пружинения				Уменьшение угла пружинения (кол-во раз)	
		Стандартная баба		Баба с наполнителем		Вдоль	Поперек
		Вдоль	Поперек	Вдоль	Поперек		
1	1,2	2	2	1	0,5	2	4
	2,0	7	3	1	0,5	7	6
2	1,2	6	3	1,5	3	4	1
	2,0	4	3	3,5	3	1,14	1
3	1,2	5	5	3,5	4	1,43	1,25
	2,0	6	5	3	4	2	1,25
4	1,2	2	1	1,5	1,5	1,33	0,66
	2,0	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1
5	1,2	2,5	2	1	2	2,5	1
	2,0	2	1	1	1	2	1
6	1,2	1,5	4	1	1,5	1,5	2,66
	2,0	4	2	1,5	1.5	2,66	1,33
7	1,2	2	1	0,5	0,5	4	2
	2,0	2	1	0,5	0,5	4	2
8	1,2	1	1	1	0,5	1	2
	2,0	2	1	0,5	0,5	4	2
9	1,2	1	2	0,5	1	2	2
	2,0	2	1	1	1	2	1

Установлено, что применение бабы молота с наполнителем при гибке позволяет уменьшить угол пружинения в 2,2 раза по сравнению со стандартной бабой молота.

Результаты данных исследований будут использованы для дальнейшей разработки рекомендаций и предложений по модернизации конструкции падающих частей листоштамповочных молотов, для увеличения размерной точности.

Литература

1. *Горбунов М.Н.* Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов: Учебник для ВУЗов. - 2-е изд. перераб. и дополн. - М.: Машиностроение, 1981. - 224 с., ил.

2. *Феофанова А.Е., Лавриненко В.Ю*. Экспериментальные исследования процесса удара при осадке цилиндрических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 2. С. 12-15.
3. *Феофанова А.Е., Демин В.А., Евсюков С.А., Лавриненко В.Ю., Семенов Е.И.* Патент на изобретение РФ № 2438825. Баба молота /опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.
4. *Лавриненко В.Ю., Чуваев И.С*. Экспериментальные исследования гибки листовых заготовок на молотах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. №3 (317). С.133-136.

Оглавление

Металлорежущие станки и оборудование 9
Александр Олегович Галкин 10
Ксения Олеговна Гречушникова 12
Василий Константинович Жёлтиков, Никита Константинович Антонцев 16
Александр Вадимович Михрютин 19
Виталий Андреевич Плетнев 21
Денис Олегович Савватеев, Магомед Марифович Рамазанов 23
Виталий Андреевич Плетнев 25
Виталий Андреевич Плетнев 28
Егор Иванович Титков 30
Инструментальная техника и технологии 34
Агаев Вусал Мубаризоглы 35
Евгений Евгеньевич Анисимов 36
Надежда Александровна Бондарь 37
Сергей Сергеевич Боровков 39
Александр Владимирович Виноградов 40
Александр Сергеевич Жарков 41
Вадим Тимофеевич Земнухов 43
Александр Сергеевич Карельский 44
Ирина Артуровна Кельциева 46
Владислав Эдуардович Кириллов 47
Владислав Владимирович Курилов 49
Елизавета Юрьевна Матасова 50
Лев Вячеславович Митясов 52
Антон Петрович Наумов 53
Даниил Павлович Пелевин 55
Роман Владимирович Силаев 56
Юрий Алексеевич Солдатов, Александр Сергеевич Карельский 58
Сергей Николаевич Титов 59
Генрик Самвелович Хачатрян 60
Павел Алексеевич Чаевский 61
Алексей Андреевич Чернобров 62
Антон Сергеевич Шевченко 64
Полина Юрьевна Щёлокова 66
Технологии машиностроения 68
Андрей Дмитриевич Балдин 69

Владимир Владимирович Гомжин 70
Александра Михайловна Данько....74
Иван Владимирович Литвинов....75
Лю И....76
Сергей Юрьевич Фролов....78
Азиз Эркинович Хафизов....81
Евгений Евгеньевич Чувилин [(1)], Илья Александрович Самойлов [(1)], Никита Витальевич Семенов [(1)], Анастасия Сергеевна Самойлова [(2)] 82
Илья Викторович Шмаков 83
Ольга Викторовна Эристова 85
Ян Гуанжун....86
Метрология и взаимозаменяемость....88
Наталья Андреевна Андронова[(1)], Михаил Михайлович Чухнин [(2)] 89
Анастасия Алексеевна Крансуцкая[(1)], Кирилл Сергеевич Ермаков [(2)]....91
Дмитрий Дмитриевич Болдасов 96
Капитолина Игоревна Короткова....99
Ксения Михайловна Куропаткина....100
Анна Сергеевна Лопатина....101
Алиса Андреевна Лукьянчик....103
Елизавета Андреевна Макарова, Анастасия Владимировна Табунова 104
Дарья Александровна Медведева....106
Артём Вадимович Мудрецов 109
Инна Николаевна Мясникова 111
Мария Александровна Смольянинова 112
Анастасия Дмитриевна Стукалова 113
Литейные технологии....116
Нурлан Фейзуллаеви Нуралиеч, Валерий Валерьевич Авдеев 117
Павел Андреевич Артамонов....118
Илья Олегович Бабийчук 118
Ляззат Маратовна Буксукбаева....124
Артем Вадимович Буров 125
Ольга Владимировна Ефимчикова....127
Кацуба Сергей Сергеевич....129
Татьяна Дмитриевна Клюквина....131
Андрей Дмитриевич Новичков....132
Нурлан Фейзуллаевич Нуралиев....134
Евгения Алексеевна Парий....135
Пуклинов Дмитрий Владимирович....136

Николай Александрович Ромашов,Олег Геннадьевич Карапузов 136
Никита Валерьевич Савельев[1], Александр Сергеевич Ефремов[2] 137
Екатерина Андреевна Устинова 138
Ильнур Камильевич Фахрутдинов 141
Анастасия Андреевна Хилкова 142
Михаил Мишелевич Шалварян 143
Цю Тао 144
Михаил Мишелевич Шалварян 145
Александр Геннадьевич Шарубский 146
Софья Александровна Яшина 147
Оборудование и технологии обработки давлением 149
Андрей Платонович Кайбаров 150
Никита Сергеевич Копнов 152
Вячеслав Александрович Костылев 153
Вячеслав Александрович Костылев 154
Дмитрий Витальевич Кривенко 156
Дмитрий Витальевич Кривенко, Андрей Игоревич Смирнов 157
Александр Владимирович Лазуткин 160
Алексей Дмитриевич Пташинский 162
Сергей Александрович Саков, Олег Валерьевич Медведев 165
Андрей Игоревич Смирнов 165
Технологии сварки и диагностики 168
Дмитрий Владимирович Буневский 169
Андрей Анатольевич Белоус 169
Артур Азатович Галиев 170
Алексей Васильевич Гонца 171
Денис Александрович Дырман 173
Леонид Вениаминович Ермачков 174
Александр Владимирович Журавлев 175
Вячеслав Юрьевич Катков 176
Евгений Юрьевич Колпаков 177
Леванов Михаил Викторович 178
Зульфия Хусаиновна Муртазина 179
Василий Дмитриевич Соколов 180
Сергей Олегович Федонин 182
Василий Дмитриевич Соколов 183
Андрей Олегович Чернышов 184

Чжо Янян 185
Иван Валерьевич Шварц 186
Максим Андреевич Щербинин 187
Максим Иванович Юдин 188
Материаловедение в машиностроении 190
Мария Владимировна Александрова 191
Виктория Михайловна Анисимова 193
Юлия Вячеславовна Артеменко 194
Баскакова Мария Игоревна 197
Вианнэ Буайо 199
Ильяс Бенариеб 201
Владислав Кириллович Гаазе(1), Юлия Александровна Лопатина(2) 203
Никита Андреевич Головлев 204
Софья Васильевна Горбунова 205
Софья Васильевна Горбунова 207
Арсений Андреевич Горковцов 209
Екатерина Александровна Евсюткина 211
Ирина Михайловна Гребенюк (1), Екатерина Севрюгина (2), Виктория Роменская(2) 213
Федор Дмитриевич Еремеев 214
Марина Игоревна Зверева 215
Тянь Цзинхуа 216
Татьяна Петровна Игнатьева 217
Йе Чжо У 220
Вероника Евгеньевна Кабанцева 222
Александра Михайловна Карпенко 224
Ольга Юрьевна Козлова 225
Александра Олеговна Константинова 227
Виктория Александровна Крохина 229
София Алексеевна Луцкая 230
Макушина Марина Александровна 232
Александра Владимировна Мартынова 234
Алексей Леонидович Новиков 235
Кира Сергеевна Панина 236
Михаил Михайлович Петров 237
Никита Сергеевич Петухов 238
Ксения Борисовна Поликевич 239
Павел Сергеевич Рыбин 241

Татьяна Геннадьевна Севальнёва 242
Ирина Михайловна Гребенюк[1], Екатерина Артуровна Севрюгина[2], Виктория Владимировна Роменская[3] 244
Михаил Самирбекович Седов 245
Виктория Сидоренко [1], Максим Андреевич Мельник [2], Леонид Леонидович Картушин[2] 247
Дария Петровна Слепцова [1], Юлия НиколаевнаРожкова [2] 248
Дария Петровна Слепцова [1], Юлия НиколаевнаРожкова [2] 251
Анна Алексеевна Соловьёва 255
Мария Андреевна Сударчикова 256
Алена Эдуардовна Суфиянова 258
Елена Станиславовна Тепишкина 260
Тянь Цзиньхуа 261
Аброр Сатторович Холов 262
Полина Игоревна Чернышова 263
Чэн Жуй 264
Никита Алексеевич Юшин 266
Промышленный дизайн 269
Александра Александровна Бухтоярова 270
Елена Анатольевна Еркович 275
Ирина Олеговна Косыгина 277
Ирина Олеговна Косыгина 281
Анна Владимировна Соболева 286
Оборудование и технологии прокатки 289
Евгений Константинович Васильев 290
Максим Владимирович Беккер 291
Дарья Дмитриевна Ярыгина, Саргис Варданович Варданян 292
Александр Владимирович Виденин 294
Марк Владимирович Водяницкий 294
Дмитрий Игоревич Войстроченко 296
Сергей АлександровичЖаворонков 296
Сергей Александрович Жуков 297
Малика Анваровна Кудратова 298
Александр Олегович Куликов 299
Юрий Михайлович Куренков 301
Дмитрий Михайлович Кутайцев 305
Евгений Михайлович Кутайцев, Диана Дмитриевна Левина 306
Андрей Александрович Миронов 308
Михайлин Сергей Владимирович 309

Андрей Анатольевич Моисеев, Даниил Сергеевич Шумков....310
Рюмин Александр Сергеевич....313
Андрей Викторович Саввин....314
Максим Николаевич Сеник....315
Марк Игоревич Сидоренко....319
Полина Александровна Сидоренко....319
Михаил Витальевич Слиж....321
Андрей Павлович Степанов....323
Сергей Васильевич Федотов....324
Илья Викторович Шинкеевич(1), Алексей Андреевич Шуков(2)....325
Алексей Андреевич Шуков,Илья Викторович Шинкеевич....326
Электронные технологии в машиностроении....329
Антон Андреевич Абрамов, Антон Михайлович Лаухин....330
Максим Юрьевич Акишин(1), Роман Михайлович Жуков(1), Халиль Ласен (2), Елизавета Ильинична Малеванная (2)....331
Сергей Сергеевич Бланк, Виктор Юрьевич Здоровьев, Алексей Андреевич Фадеев, Артем Павлович Федюнин, Вячеслав Валерьевич Хриченко, Артем Александрович Ярмов 333
Денис Сергеевич Громов....342
Павел Александрович Долинин, Олег Дмитриевич Якушев....344
Дмитрий Алексеевич Баклыков, Сергей Александрович Дубинин....351
Дмитрий Сергеевич Калинин (1), Мария Владимировна Антонова (2)....352
Вера Леонидовна Колесник....355
Кира Станиславовна Косарева....356
Иван Владимирович Макеев....358
Андрей Евгеньевич Меринов....359
Михаил Александрович Пронин....360
Максим Алексеевич Рубцов, Людмила Андреевна Рубцова....365
Ольга Николаевна Смирнова....366
Дмитрий Константинович Товмаченко, Анна Эрнестовна Янчелик....368
Алексей Андреевич Фадеев....370
Руслан Игоревич Фёдоров....374
Артем Павлович Федюнин....375
Вячеслав Валерьевич Хриченко, Наталья Александровна Сачкова....383
Артём Валерьевич Шелупинин....384
Олег Дмитриевич Якушев, Павел Александрович Долинин....385
Лазерные технологии в машиностроении....391
Артём Дмитриевич Алексанян, Иван Игоревич Камзолов, Константин Игоревич Макаренко....392

Денис Андреевич Баранов, Виктория Александровна Мягкая 394
Анна Владимировна Бурак, Анастасия Руслановна Нигай 395
Вера Вячеславовна Ильина 396
Константин Игоревич Макаренко 398
Руслан Рамилевич Нагимов 401
Анастасия Руслановна Нигай, Дмитрий Станиславович Ощепков 402
Дмитрий Станиславович Ощепков, Анастасия Руслановна Нигай 404
СветланаЛеонидовнаПономаренко [(1)], АндрейБорисовичСадков [(2)], Дмитрий Андреевич Форостяный [(2)] 405
Андрей Борисович Садков [(1)], Дмитрий Андреевич Форостяный [(1)], Светлана Леонидовна Пономаренко [(2)] 408
Екатерина Михайловна Тюльпанова 412
Тамара Бежановна Урушадзе, Елизавета Юрьевна Копаева 414
ДмитрийАндреевичФоростяный [(1)], АндрейБорисовичСадков[(1)], Светлана Леонидовна Пономаренко[(2)] 416
Реновационные технологии 420
Дмитрий Викторович Бажанов 421
Никита Юрьевич Гаврилов 422
Валерий Александрович Говоров 423
Сергей Александрович Жаворонков 425
Иван Александрович Кузнецов 426
Богдан Денисович Дробышевский 427
Александр Владимирович Ерёмин 432
Алексей Петрович Захарченко 433
Арсений Станиславович Калинин 435
Тимур Анверович Кильдеев 436
Анастасия Алексеевна Кохан 437
Иван Александрович Кузнецов 439
Вадим Алексеевич Курчик 440
Ашот Тельманович Мартиросян 442
Никита Эдуардович Митрофанов 443
Даниил Михайлович Некрасов 445
Алексей Валерьевич Новиков 446
Владислав Алексеевич Павлов 448

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

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/

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

электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038. ISSN 2307-0609
Номер: # 02, февраль 2017
Машиностроительные технологии
Литейные технологии
Выбор оптимального варианта литниковой системы для получения отливки «основание» из титанового сплава в вакуумной печи
Материаловедение
Поиск изображений по визуальным словам
ПОИСК
2 345 журналов
3 413 191 статья