

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 2015:

Машиностроительные технологии»

7 – 10 апреля 2015 г.

г. Москва, 2015 г.

УДК 62

ББК 34

Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7 – 10 апреля, 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана / отв. ред. Ю.А.Гладков. – Москва: ООО «КванторФорм», 2015. – 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: Кайбаров А.П., Рукавичко Е.А.,
Саитов Р.Р., Сайимов А.Ш., Халикова А.Т.

Опубликовано 07.04.2015

Содержание

Состав оргкомитета	5
Порядок проведения конференции	7
Секция 1. Металлорежущие станки	8
Секция 2. Инструментальная техника и технология	14
Секция 3. Технология машиностроения	38
Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость	50
Секция 5. Литейные технологии	72
Секция 6. Технологии обработки давлением	92
Секция 7. Технологии сварки и диагностики	137
Секция 8. Материаловедение в машиностроении	169
Секция 9. Промышленный дизайн.....	256
Секция 10. Оборудование и технологии прокатки	259
Секция 11. Электронные технологии в машиностроении	281
Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении	306
Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении	325

Всероссийская научно-техническая конференция студентов
«Студенческая научная весна 2015:
Машиностроительные технологии»
7-10 апреля 2015 года

Организаторы:

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

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

Контактная информация конференции:

Сайт: www.studvesna.ru

E-mail: stud-vesna@yandex.ru

**Состав оргкомитета
Всероссийской научно-технической конференции студентов
«Студенческая научная весна 2015: 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.

Додонов Владимир Владимирович к.т.н., доц. МТ-1

Секция 2. Инструментальная техника и технологии

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

Литвиненко Анатолий Васильевич к.т.н., доц. МТ-2

Секция 3. Технологии машиностроения

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

Заставный Евгений Александрович к.т.н., доц. 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

Семенов Вячеслав Иванович зав. каф. МТ-5, к.т.н., доц.

Савохина Ольга Михайловна ассистент МТ-5

Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением

Белокуров Олег Александрович доц. каф. МТ-6, к.т.н.

Алленов Максим Геннадьевич ассистент каф. МТ-6

Секция 7. Технологии сварки и диагностики

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

Якушин Борис Федорович проф. каф. МТ-7, д.т.н.

Секция 8. Материаловедение в машиностроении

Плохих Андрей Иванович доц. каф. МТ-8, к.т.н.

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.

Сафин Дмитрий Юсупович ст. преподаватель каф. МТ-9

Секция 10. Оборудование и технологии прокатки

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

Шинкарев Александр Сергеевич ассистент МТ-10

Секция 11. Электронные технологии в машиностроении

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

Бычков Сергей Павлович ассистент 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

Гладков Юрий Анатольевич председатель организационного комитета, к.т.н.,
доц. МТ-6

Комшин Александр Сергеевич сопредседатель организационного комитета –
технический секретарь конференции, к.т.н.,
доц. МТ-4

Резвых Руслан Викторович специалист ИТ, разработка сайта, выпускник каф. МТ-6,
инженер ООО "КванторФорм"

Панова Ирина Андреевна сбор материалов конференции и переписка с
участниками, выпускница каф. МТ-6, ранее
председатель СНТО им. Н.Е. Жуковского факультета
МТ

Анцифиров Алексей
Анатольевич к.т.н., доц. МТ-6

Аникина Валерия Сергеевна сбор материалов конференции и переписка с
участниками, студентка группы МТ6-82

Тумакова Екатерина
Владимировна аспирант, ассистент каф МТ-4

Сырицкий Антони Борисович ассистент каф МТ-4

Волонтеры конференции:

Зудина Ольга студентка группы РК9-101

Кривенко Дмитрий, Смирнов составление программы конференции, студенты группы
Андрей МТ6-61

Рукавичко Е.А., Халикова подготовка сборника тезисов и сборника статей
А.Т., Кайбаров А.П., Сайтов Р.Р., конференции, студенты группы МТ6-81
Сайимов А.Ш.

Порядок проведения
Всероссийской научно-технической конференции студентов
«Студенческая научная весна 2015: Машиностроительные технологии»

7 апреля 2015г., вторник		
Заезд и поселение иногородних участников конференции		
8 апреля 2015г., 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 12-00 до 16-00	Секция 1. Металлорежущие станки и оборудование	ГУК, каф. МТ-1 ауд. 114
с 11-00 до 15-00	Секция 2. Инструментальная техника и технологии	ГУК, каф. МТ-2 (Инструментальный кабинет)
с 11-00 до 15-00	Секция 3. Технологии машиностроения	ГУК, каф. МТ-3 ауд.299а
с 14-00 до 17-00	Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость	Корпус МТ, каф. МТ-4 ауд. 218
с 13-00 до 15-00	Секция 5. Литейные технологии	Каф. МТ-5, ком. 20
	Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением.	
с 11-00 до 16-00	Подсекция 6-1. Моделирование и исследование технологических процессов ОД	ГУК, ауд.229 "Преподавательский читальный зал"
с 11-00 до 16-00	Подсекция 6-2. Проектирование прогрессивных технологических процессов и оборудования ОД	Здание каф. МТ-6, Учебно-методический кабинет
	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	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 11-30 до 16-00	Подсекция 8.3. Композиционные материалы	Корпус Энергомашиностроения, ауд. НОЦ "НМКН"
с 14-00 до 18-00	Подсекция 8.4. Химико-термическая обработка и покрытия	ГУК, каф. МТ-8, ауд.5
с 17-30 до 21-00	Секция 9. Промышленный дизайн	ГУК, ауд.208
с 11-15 до 15-00	Секция 10. Оборудование и технологии прокатки	ГУК, каф. МТ-10 (Конференц-зал)
	Секция 11. Электронные технологии в машиностроении.	
с 14-00 до 17-00	Подсекция 11.1. Электронные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 313
с 16-00 до 19-00	Подсекция 11.2. Микро- и нанотехнолоии	Корпус МТ, каф.МТ-11, ауд. 304
с 14-00 до 17-00	Подсекция 11.3. Элионные технологии	
с 14-00 до 17-00	Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении	Каф. МТ-12
с 15-00 до 19-00	Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф. МТ-13 ауд. 115
9 апреля 2015г. четверг		
с 10-00 до 14-00	Секция 6 (продолжение). Методический семинар компании КванторФорм по вопросам моделирования процессов пластической деформации.	ГУК, ауд. 229 "Преподавательский читальный зал"
с 15-30 до 16-30	Торжественное закрытие конференции Вручение дипломов и призов за лучшие работы.	ГУК, ауд.213 (Читальный зал старших курсов)
10 апреля 2015г. пятница		
Отъезд иногородних участников конференции		

Секция I

Металлорежущие станки и оборудование

Председатель:

Утенков Владимир Михайлович

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой МТ-1

Ученый секретарь:

Додонов Владимир Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-1

УДК 53.084.823

**РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ
ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ**

Иван Александрович Ланшин

*Студент 5 курс**кафедра «Технологии обработки материалов»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: С.К. Федоров**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ЭМО) – способ повышения износостойкости, прочности и предела выносливости деталей машин и технологического оборудования основанный на использовании высококонцентрированного источника электрической энергии промышленной частоты сосредоточенной в локальной области контакта «инструмент – обрабатываемая поверхность» и формирующие высокие эксплуатационные свойства поверхностного слоя изделия.

Разработано оборудование, позволяющее производить электромеханическую поверхностную закалку наружной конической поверхности замковой резьбы ГОСТ Р 50864-96 бурильных труб(Рис.1). Установка включает в себя: привод вращения трубы(6), прижимной механизм(4). Рабочее усилие в зоне контакте «инструмент-поверхность» обеспечивает пневмоцилиндр(2), которое передается за счет рычажного механизма(8). При вращении трубы осуществляется закалка боковой поверхности профиля резьбы по всей длине резьбы за счет самозатягивания, весь механизм прижима свободно передвигается по направляющим(9).

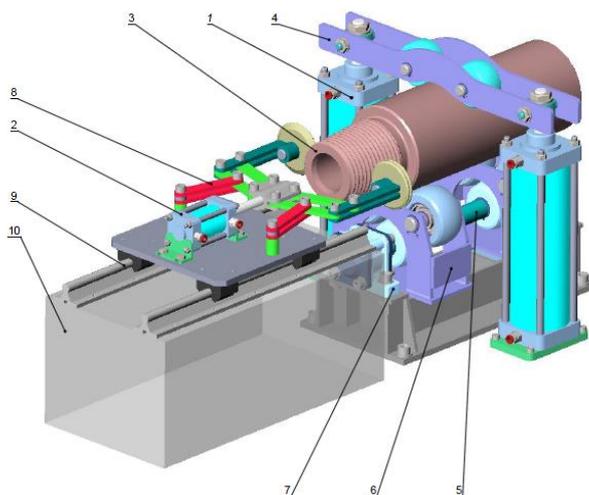


Рис. 1. Установка для электромеханической поверхностной закалки наружной резьбы бурильной трубы.

В результате поверхностной закалки выделяется большое количество тепла в зоне «инструмент – обрабатываемая поверхность», происходит высокоскоростной ($106^{\circ}\text{C}/\text{с}$) нагрев локального микрообъема поверхности с одновременным его пластическим деформированием и последующее интенсивное охлаждение ($105^{\circ}\text{C}/\text{с}$) за счет отвода тепла в глубь металла. В результате мощного теплового «удара» на поверхности материала формируется упрочненный «белый слой» — уникальная мартенситная структура (гарденит, наноструктурный мартенсит), обладающая высокой прочностью и износостойкостью.

Выводы:

- 1) Твердость: до обработки 28...32 HRC;
после обработки 58...62 HRC.
- 2) Структура: до обработки – сорбит;
после обработки – мартенсит мелкоигльчатый + аустенит остаточный.
- 3) Нарушений геометрических параметров резьбы – не происходит.
- 4) Обезуглероживание поверхностного слоя – не происходит.
- 5) Окисление поверхностного слоя – не происходит.

Литература

1. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. РИТМ – 2012 – №2(70), с. 14 – 16.
2. J. S. Alekseeva, L.V. Fedorova, S.K. Fedorov, I.N. Kapustin. Improving the quality of the surface layer of steel parts. Proceeding of 5-th International Mechanical Engineering Forum (IMEF) - 2012-Prague, Czech Republic, с. 65 – 74.

УДК 621.9.04

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА
СТАНКАХ С ЧПУ**

Алексей Владимирович Русак

Студент 6 курса

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.К. Федоров

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Электромеханическая обработка (ЭМО) определяет пути нового направления научно-технической политики в области повышения ресурса и надежности машин, снижения трудоемкости изготовления и восстановления деталей, повышения эффективности работы предприятий и организаций, защиты окружающей среды и создания конкурентоспособной продукции.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологий, оборудования, инструмента, оснастки, позволяющих производить предварительную лезвийную обработку – ЭМО – финишную обработку твердым точением на станке с ЧПУ при одном установе заготовки. С помощью данного привода можно обработать наружные и внутренние цилиндрические поверхности, торцовые и фасонные поверхности деталей.

Опытно-экспериментальные исследования направлены на расширение технологических возможностей металлорежущих станков путем автоматизации процессов изготовления деталей на металлорежущих станках с ЧПУ, где за один ход инструмента обеспечивается поверхностная закалка, отделочно-упрочняющая обработка и упрочняющее восстановление деталей машин и технологического оборудования.

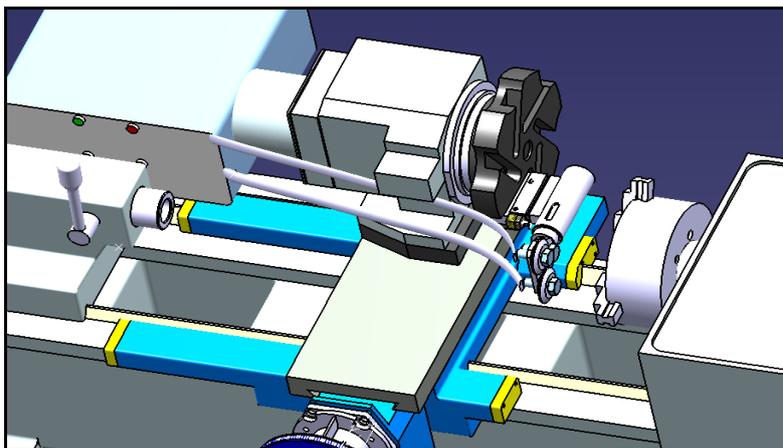


Рис. 1. Фрагмент расположения оборудования, инструмента и оснастки электромеханической обработки на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели 16К20Ф3М

Литература

1. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. РИТМ – 2012 – №2(70), с. 14 – 16.
2. J. S. Alekseeva, L.V. Fedorova, S.K. Fedorov, I.N. Kapustin. Improving the quality of the surface layer of steel parts. Proceeding of 5-th International Mechanical Engineering Forum (IMEF) - 2012-Prague, Czech Republic, с. 65 – 74.

УДК 685.562.44

3D СКАНЕР ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ

Юлия Владимировна Сеницына⁽¹⁾, Кристина Александровна Любиченко⁽²⁾

Студент 4 курса^{(1),(2)}

кафедра «Металлорежущие станки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.М. Ермолаев

кандидат технических наук, ассистент кафедры «Металлорежущие станки»

Главными функциональными качествами станков являются точность и производительность, однако достичь высоких показателей этих параметров достаточно сложно, так как на них влияют множество факторов таких, как упругие и тепловые деформации, износ режущего инструмента, вибрации и погрешности базирования.

Одним из способов отслеживания погрешностей обработки является использование систем технического зрения[1]. К ним относится 3D сканер. Он представляет собой трехмерное измерительное устройство анализирующее объекты реального мира для получения данных о их форме и размере, которые используются для создания трехмерных моделей и последующей обработки. На данный момент сформировались две различные по своему принципу методики сканирования 3D объектов – контактная и бесконтактная. Рассмотрим только бесконтактный метод сканирования[2].

У бесконтактных сканеров есть два типа сканирования: пассивный и активный. Пассивные сканеры применяют при работе уже имеющийся свет и на основе его отражения от

фигуры проводят анализ. Активный 3D сканер обладает способностью генерировать свой волновой сигнал, световой, лазерный или звуковой.

Существующие 3D сканеры построены на 3-х основных технологиях:

1. Технология, основанная на использовании стереоизображений;
2. Лазерная технология;
3. Технология, использующая структурированный свет.

Для использования на станке в качестве контрольно-измерительной системы оптимальным является третий метод сканирования, позволяющий обеспечить достаточную точность измерения большинства деталей общего машиностроения.

В данной технологии на сканируемый объект проецируется сетка или кодируемое изображение[3]. Объект, на который спроецирована решетка, фотографируется камерой, расположенной таким образом, что ее оптическая ось образует с оптической осью проектора значительный угол (рис. 1). Полученные фотографии вводятся в компьютер. Поскольку различные части отражающей поверхности сканируемого объекта расположены на различном удалении от проектора, на фотографиях линии решетки будут расположены на различных расстояниях друг от друга. Эти расстояния измеряются, и по ним определяются недостающие третьи координаты сканируемого объекта. Текстура объекта получается путем его фотографирования без решетки. Снижается вероятность получения ложных или искаженных результатов измерения и расширяется класс измеряемых поверхностей[4]. Однако процесс получения 3D-изображений оказывается весьма трудоемким. Кроме того, при работе с объектами, различные части которых имеют сильно различающуюся детализацию, необходимо вручную добавлять точки в создаваемую модель, в областях высокой детальности.

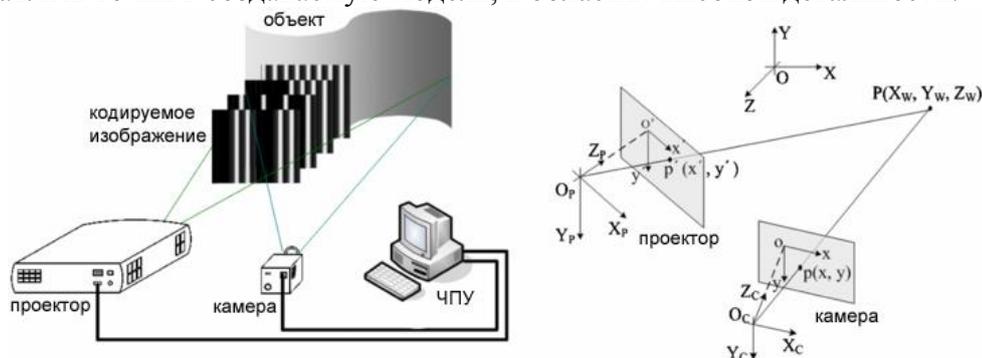


Рис. 1. Схема сканирования

Интеграция системы технического зрения со станком (рис. 2) позволяет получать точные данные о положении сканера в координатах станка, что дает высокую точность сканирования при большой зоне обработки, а также избавиться от погрешности базирования. Зная конфигурацию детали, отклонения ее геометрических параметров, можно сгенерировать траектории движения инструмента и управляющую программу для доработки детали, не снимая ее со станка.

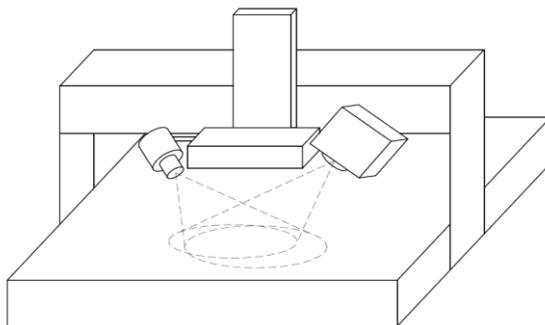


Рис. 2. Сканирующий узел станка

Выводы:

- Использование системы технического зрения для контроля геометрии обрабатываемой заготовки имеет большие перспективы, т.к. позволяет отслеживать погрешности обработки в момент их появления и дает возможность их коррекции.
- Для использования на станке с ЧПУ рекомендуется использовать 3D-сканнер, основанный на технологии сканирования за счет структурированного света, как наиболее оптимальный по параметрам точности и производительности.

Литература

1. *Шапиро Л., Стокман Дж.* // Компьютерное зрение / БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. - С. 6-7.
2. *J. Reznicek, K. Pavelka.* // NEW LOW-COST 3D SCANNING TECHNIQUES FOR CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION, Commission VI, WG V/2, 2012.
3. *Красильников Н.Н.* // Цифровая обработка 2d и 3d изображений / «БХВ-Петербург», 2011. - С.411-420.
4. *Сивохин А.В., Кузнецов А.Б.* // Пат. 2448323 Российская Федерация. G01B11/24. Способ оптического измерения формы поверхности. Владельцы патента: Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственный центр газотурбостроения "САЛЮТ" (ФГУП "НПЦ газотурбостроения "САЛЮТ") (RU).

Секция II

Инструментальная техника и технологии

Председатель:

Древаль Алексей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Инструментальная техника и технологии» (МТ-2)

Ученый секретарь:

Литвиненко Анатолий Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-2

УДК 621.729.02

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОД СКЛЕИВАНИЕ НИЗКОАДГЕЗИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Максим Михайлович Буслук, Николай Николаевич Зубков

*Студент 5 курса**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»*

Современные полимерные материалы типа фторопласта Ф4, сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и другие обладают уникальными показателями по износостойкости и коэффициенту трения. Для деталей трения скольжения использование таких материалов позволяет значительно повысить показатели их износостойкости. Выполнение деталей трения полностью из полимерных материалов не представляется возможным ввиду их низкой прочности и жесткости.

Альтернативным вариантом является использование металла в качестве несущей конструкции, в то время как тонкий слой полимерного материала обеспечивает функцию повышения износостойкости. Такое соединение наиболее целесообразно выполнять склеиванием, однако, все материалы, имеющие низкий коэффициент трения обладают низкой адгезионной способностью. Таким образом, существует актуальная проблема соединения перспективных антифрикционных полимеров с материалом несущих конструкций, выполненных из металлов или композиционных материалов. Производимые в настоящее время клеи достигают высоких адгезионных показателей к металлам и композиционным материалам, в то время как показатели прочности клеевого соединения с термопластичными полимерами необходимо повышать.

Повысить прочность клеевого соединения с полимерами возможно путем создания на нем микрорельефа, обладающего анкерным (замковым) эффектом, то есть когда адгезионное взаимодействие после полимеризации клеевого компаунда заменяется на механическую связь.

В работе предлагается использование метода деформирующего резания (ДР) для создания микрорельефов, обладающих замковым эффектом. Такими свойствами обладают рельефы в виде наклонного оребрения (рис.1).

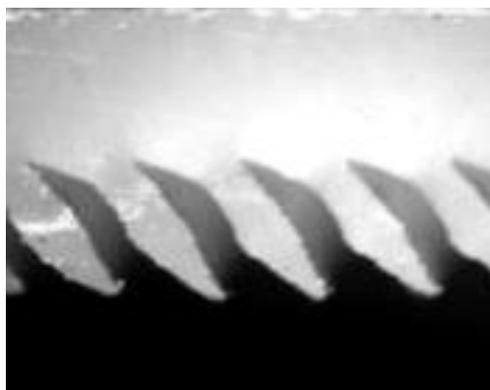


Рис. 1. Вариант микрорельефа, полученного ДР с замковым эффектом

Эксперименты по оценке эффективности таких микрорельефов проводились по оригинальной методике, то есть при склеивании образцов низкоадгезионных полимеров друг с

другом, что позволяло напрямую оценить эффект повышения прочности за счет использования микрорельефа. Образцы представляли кубики со стороной 12 мм. Микрорельеф в виде глубокого наклонного оребрения формировался на одной из граней методом ДР на строгальном станке. Парно склеивались образцы из фторопласта Ф4 и СВМПЭ двумя типами клеев: эпоксидным клеем ЭДП и термоклеем (этиленвинилацетат).

Склеенные образцы разрывались с фиксированием усилия разрушения динамометром Kistler. Отмечен когезионный механизм разрушения клеевого соединения, то есть отслоения клея от полимера не наблюдалось. Для эпоксидного клея достигнута прочность клеевого шва 12 МПа, что всего в два раза ниже прочности на растяжение фторопласта Ф4.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОГО СТЕНДА НА БАЗЕ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Константин Сергеевич Ветров, Николай Николаевич Зубков

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Л.Д. Малькова

старший преподаватель кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В рамках работы была поставлена задача разработать и подготовить к эксплуатации динамометрический стенд на базе фрезерного станка и провести на нем экспериментальные исследования по энергопотреблению при торцевом и цилиндрическом фрезеровании.

Для решения поставленной задачи использовано уже имеющееся оборудование: динамометр Kistler, устройство считывания данных с персональным компьютером, вертикально-фрезерный станок модели 6P12; а также вновь спроектированные и изготовленные компоненты: установочная плита и специальная заготовка. Установочная плита представляет собой диск с восемью резьбовыми отверстиями М8 для закрепления динамометра к столу вертикально-фрезерного станка. Отверстия выполнены с учетом габаритных и установочных размеров динамометра. В конструкции заготовки для экспериментов также предусмотрены отверстия, обеспечивающие ее базирование и закрепление на динамометре. Особенностью указанной заготовки являются выполненные Г-образный профили с начальной высотой "козырька" 30 мм для реализации цилиндрического фрезерования периферийными режущими кромками концевой фрезы на вертикально-фрезерном станке. Заготовка выполнена из стали 40Х ГОСТ 4543-71.

При подготовке установки к эксплуатации была решена задача оптимизации выбора частоты регистрации данных. Выявлено, что чрезмерное завышение этого параметра, который в проверочных экспериментах достигал 3000 Гц, приводит к существенному увеличению объема снимаемой информации и затрудняет ее обработку. С другой стороны специфика фрезерования исключает понятие так называемой "установившейся" силы резания. Поэтому нижняя граница частоты регистрации данных определялась из необходимости качественного отображения "горба" на графиках составляющих силы резания каждого врезания зубьев на всех режимах обработки. Установлена оптимальная частота регистрации данных в диапазоне 300 ... 400 Гц.

При проведении эксперимента составляющие силы резания замерялись при минутных подачах $S_m = 25, 31,5, 40$ и 50 мм/мин, поэтому для корректного подбора частоты, были выбраны максимальная и минимальная минутные подачи. Промежуточные значения подач, проверять не было смысла.

На базе разработанного стенда в лабораторных условиях проведены экспериментальные исследования по сравнению энергопотребления при торцевом и цилиндрическом фрезеровании. В качестве режущего инструмента использовалась фреза концевая с двумя зубьями $\varnothing 32$ мм из быстрорежущей стали Р6М5 с коническим хвостовиком по ГОСТ 17026-71. С целью сохранения идентичности условий обработки экспериментальные исследования для обоих видов фрезерования выполнялись с глубиной резания $t = 1$ мм и частотой вращения шпинделя $n = 250$ мм/об, что соответствует скорости резания $v = 25$ м/мин. Составляющие силы резания замерялись при минутных подачах $S_m = 25, 31,5, 40$ и 50 мм/мин, что при указанных условиях соответствует подачам $S_z = 0,05; 0,063; 0,08$ и $0,1$ мм/зуб.

Эксперимент проводился, путем чередования цилиндрического и торцевого фрезерования с повторениями. Ширина фрезерования для обоих видов обработки изменялась дискретно с шагом 3 мм в диапазоне от 30 до 3 мм.

По экспериментальным данным получены зависимости энергопотребления от ширины фрезерования и величины подачи на зуб для цилиндрического и торцевого фрезерования. Проведен сравнительный анализ энергопотребления двух видов фрезерования при одинаковых условиях, включая одинаковый объем снимаемого материала и производительность. Установлено, что цилиндрическое фрезерование является более энергоемким процессом обработки, чем торцевое.

Литература

1. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова, Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1985-1986.- Т.2.- 1985.- 496 с.

УДК 621.9.042, 62-71

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗВИТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Сергей Алексеевич Войнов⁽¹⁾, Юлия Леонидовна Битюцкая⁽²⁾, Николай Николаевич Зубков

Студент 6 курса⁽¹⁾, аспирант⁽²⁾

кафедра "Инструментальная техника и технологии"

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Н. Н. Зубков

доктор технических наук, профессор кафедры "Инструментальная техника и технологии"

Эффективность жидкостного охлаждения электронных устройств заключается в максимальной охлаждающей способности, низком гидравлическом сопротивлении, при минимальной металлоемкости и наибольшей технологичности конструкции. Ключевым устройством системы жидкостного охлаждения является водоблок (ВБ) - теплообменник с развитой поверхностью с проходящим через него теплоносителем, устанавливаемый на электронный компонент, выделяющий тепло [1].

Основная часть ВБ – пластина с высокой теплопроводностью, на которой расположены теплопередающие элементы (ТЭ), через которые проходит поток охлаждающей воды. Существующие способы формирования ТЭ основаны на получении ребер или штырьков фрезерованием на теплосъемной пластине ВБ.

Для повышения эффективности охлаждения необходимо увеличить площадь теплообмена и турбулизовать поток, т.е. увеличить плотность расположения ТЭ (минимизировать шаг ТЭ), при этом турбулизация потока возможна за счет придания

специальной конфигурации ТЭ. Способом, который позволяет выполнить данные условия является метод деформирующего резания (ДР), позволяющий без отходов материала с высокой производительностью формировать часто расположенные штырьки разнообразных форм [2].

Цель данной работы — исследовать особенности получения штырьковых структур методом ДР и технологические параметры управления их формой.

Штырьковые структуры формируются методом ДР посредством повторной обработки оребренной поверхности под углом к ранее полученным ребрам. Угол между направлением обработки на первом и втором проходах инструмента принимался за угол встречи θ .

Получаемые ДР штырьковая структура имеет такие параметры как шаг и высота структуры, длина и угол наклона штырька, шаг закрутки штырька вокруг своей оси. Выведена формула длины штырька от подачи S , глубины резания t , действительного главного угла инструмента в плане φ_d и угла встречи θ . В работе также предложена методика определения действительного главного угла инструмента в плане.

Поскольку инструмент для ДР имеет большие положительные углы наклона режущей кромки, то первоначальный контакт резца для ДР и заготовки в момент врезания в зависимости от угла встречи θ может происходить либо точкой на режущей кромке, либо вершиной резца. Проведено моделирование момента контакта режущей кромки с перерезаемым ребром с углом встречи в диапазоне $10^\circ \dots 170^\circ$ с использованием программной среды CATIA V5R19.

В работе выполнены измерения длины, высоты, произведена оценка вертикальности полученных штырьков на медной пластине, имитирующей перерезаемое ребро. Поскольку при той же площади теплообменной поверхности структуры с более вертикальными штырьками обладают меньшим гидравлическим сопротивлением, оценивалась также зависимость вертикальности штырьков от угла встречи. Вертикальность оценивалась отношением высоты полученного штырька к его длине. Считалось, что чем ближе это отношение к единице, тем штырек более вертикален. Установлен оптимальный диапазон углов встречи, обеспечивающие наибольшую вертикальность штырьков.

Литература

1. Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Трофимович А.С., Черкасов А.С. Использование штырьковых структур нового типа для охлаждения электронной аппаратуры. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2014. № 2 (95). С. 70-79.
2. Thors P., Zoubkov N.//European Patent EP1692447. Method and tool for making enhanced heat transfer surfaces/ European Patent, Bulletin No. 34, 2006. 46 p.

УДК 621.9-05

СИСТЕМА ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕХА В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Зиннур Марселевич Галиев

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.Г. Васильев

доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Система инструментообеспечения, существующая сегодня даже на современных машиностроительных предприятиях, зачастую, не удовлетворяет требованиям эффективности, технологической гибкости и имеет ряд существенных недостатков. В рамках данной работы исследуется система инструментообеспечения ФГУП «НПЦАП» цеха мелкосерийного многономенклатурного производства №146.

В настоящее время применение режущего инструмента иностранных фирм – производителей обуславливает отсутствие значений стойкости при их использовании на режимах, отличных от рекомендуемых. Спецификой мелкосерийного производства долгое время являлось маршрутное описание технологического процесса без описания карт наладок с перечнем используемого инструмента.

Все перечисленные выше факторы ведут к отсутствию управляемости и невозможности рационально осуществлять подготовку производства в масштабах предприятия, значительному количеству «замороженного» режущего инструмента, находящегося на складах и кладовых, увеличенному расходу инструмента в связи с неполным использованием его периода стойкости, что в итоге не позволяют системе инструментообеспечения эффективно функционировать.

Целями данной работы является уменьшение необоснованных запасов режущего инструмента, уменьшение сроков подготовки производства, снижение затрат на средства технологического оснащения, создание управляемой и эффективной системы инструментообеспечения, интегрированной в АСУП (автоматизированная система управления предприятием).

Одной из основных задач является создание методики определения норм расхода инструмента с учетом многономенклатурного, мелкосерийного производства. Для ее решения в первую очередь производится унификация режущего инструмента и деление имеющейся по производственному плану номенклатуры деталей на группы по преобладающему виду обработки, конфигурации, типоразмеру и материалу, а затем формирование типовой инструментальной наладки в каждой из полученных групп.

Следующим шагом является определение основного времени резания с использованием САМ (*Computer-aided manufacturing*). САМ или автоматизированная система подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет получить данные о времени резания для всей номенклатуры выпускаемых деталей без учета холостых ходов. Для оценки достоверности полученных значений из САМ проводятся эксперименты по замеру фактического времени резания на деталях – представителях внутри каждой из групп.

Не менее важной задачей является определение фактического значения стойкости режущего инструмента различного типоразмера. Для решения этой задачи необходимы фактические нормированные данные по стойкости инструментов при технологических критериях его смены (получаемая шероховатость R_a , размерная точность обрабатываемых поверхностей), а также укрупненные статистические расчеты расхода инструмента, использованного за определенный период времени, для изготовления продукции, выпущенной цехом. Данные по стойкости режущего инструмента, фактическое время резания и коэффициент случайной убыли позволяют рассчитать норму расхода инструмента для изготовления одной детали, партии или же всего производственного плана.

Результатом данной работы будет являться система инструментообеспечения как часть автоматизированной системы управления производством, внедряемой на НПЦАП. Предполагается, что система будет иметь возможность определять необходимое количество инструмента для изготовления деталей производственного плана, а также оценочные значения расхода для проектируемых деталей на стадии подготовки производства.

Исходя из вышесказанного, следует, что внедрение интегрированной системы инструментообеспечения позволяет добиться технологической гибкости и рациональности ведения подготовки производства при уменьшении сроков и ресурсов на ее осуществление.

Литература

1. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М., Никифоров И.М. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.
2. Виноградов Д.В. Курс лекций «Инструментообеспечение машиностроительных предприятий».

УДК 621.919.2

ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗМЕРНОМУ ИЗНОСУ ПРОТЯЖЕК ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Марина Николаевна Гвоздарева

*Студентка 6 курса**кафедра “Инструментальная техника и технологии”**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.В. Литвиненко**кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры “Инструментальная техника и технологии”*

Протягивание – одна из эффективных операций обработки материалов резанием, выполняемая режущим инструментом-протяжкой. На сегодняшний день, протягивание является главным способом обработки замков в /дисках турбины высокого давления (ТВД) для хвостовиков лопаток газотурбинных двигателей. Диски газовых турбин относятся к особо ответственным деталям авиационных двигателей, так как их разрушение приводит, как правило, к отказу с опасными последствиями. Поэтому к изготовлению дисков предъявляются повышенные требования. Обработка замка крепления лопатки относится к наружному протягиванию, что непосредственно отражается на конструкции протяжного оборудования и протяжного инструмента.

Задачами исследования было установление износа протяжек из быстрорежущей стали. При обработке диска ТВД из материала ЭП741НП елочной протяжкой из быстрорежущей стали Р12МЗК5Ф2-МП было установлено, что стойкость данных протяжек теряется после обработки 3-х дисков ТВД. Данные статистических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Протяжка	№ диска	Размер по роликам по чертежу, мм	Размеры по роликам в пазе №1	Размеры по роликам в пазе №90	Разность размеров по роликам
№ 1 (Р12МЗК5Ф2-МП)	1	9,658 ^{+0,07}	9,724	9,694	0,03
		7,588 ^{+0,07}	7,654	7,634	0,02
		5,517 ^{+0,07}	5,583	5,568	0,015
	2	9,658 ^{+0,07}	9,716	9,712	0,004
		7,588 ^{+0,07}	7,643	7,640	0,003
		5,517 ^{+0,07}	5,572	5,568	0,004
	3	9,658 ^{+0,07}	9,700	9,677	0,023
		7,588 ^{+0,07}	7,622	7,605	0,017
		5,517 ^{+0,07}	5,551	5,537	0,014

После изготовления 3го диска протяжка вышла из допуска на размер по техническим требованиям. Так как профильная протяжка окончательная, она не подлежит переточке.

Поэтому поставлена задача о возможности замены протяжек из быстрорежущего сплава на протяжки с твердосплавными пластинами. Проведена работа по подбору марки твердого сплава для замены. Так же были анализированы конструкции наружных протяжек с механическим креплением твердосплавных пластин. Сделан анализ различных каталогов фирм по конструктивному исполнению протяжек с твердосплавными режущими элементами.

Литература

1. *Н.В. Абраимов, Ю.С.Елисейев, В.В.Крымов* Авиационное материаловедение и технология обработки металлов - М 1998 – 450с.
2. *Щёголев А.В.* Конструирование протяжек – М 1960 -547с.

УДК 65.07

АЛМАЗНЫЙ АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Алена Вячеславовна Колесникова ⁽¹⁾, Мария Александровна Шавва ⁽²⁾

Студентка 5 курса ⁽¹⁾, аспирантка 2 года ⁽²⁾

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»

Хрупкие неметаллические материалы: кварц, стекло, керамика, ферриты, ситаллы, драгоценные и полудрагоценные камни, граниты и мрамор - находят широкое применение в машиностроении, приборостроении, радиоэлектронике, оптической, часовой и ювелирной промышленности. Эти материалы имеют высокую твердость, прочность, износостойкость, повышенную хрупкость, и, как следствие, относятся к труднообрабатываемым материалам.

В данной работе был проведен анализ особенностей алмазных абразивных кругов для обработки хрупких неметаллических материалов.

Алмазные шлифовальные круги для обработки неметаллических материалов могут иметь кольцевую, плоскую и тарельчатую формы. В зависимости от требований по шероховатости зернистость алмазных кругов может варьироваться в пределах от 250 до 1 мкм. Оптимальная концентрация зерен в алмазоносном слое – 100%. Круги для обработки неметаллических материалов могут быть выполнены как на металлической, так и на керамической связке. Состав связки и свойства, могут варьироваться в зависимости от обрабатываемого материала.

Российской фирмой «Русс-Атлант» создана технология изготовления алмазно-абразивного высокопроизводительного и износостойкого инструмента нового поколения «МонАлит» с относительной концентрацией алмазов до 250%. Для данной связки преобладающим является постепенное микроскалывание алмазных зерен с образованием новых режущих кромок, в отличие от традиционной связки, где доминирующим является изнашивание вершин режущих зерен с последующим их вырывом.

ООО «НЕВА-Альфа» производит алмазные круги различных типоразмеров и форм, в том числе не стандартных. Для этих кругов минимальная зернистость алмазоносного слоя составляет 1-3 мкм, связка кругов - керамическая и металлическая. Основой металлических связок является медь, олово, титан.

ОАО «НПО«Оптика» производит кольцевой алмазный инструмент для предварительного, тонкого и супертонкого шлифования неметаллических деталей. Инструмент изготавливается на металлических связках с зернистостью 63/50-50/40 и эластомерных связках с зернистостью 20/14-10/7.

Также ОАО «НПО«Оптика» производит полировальный инструмент со связанным абразивом, предназначенный для полирования оптического стекла и других неметаллических материалов без применения свободного абразива. Инструмент изготавливается в виде элементов цилиндрической формы (таблеток) и сферических притиров (коронки). Таким инструментом достигается шероховатость Rz 0,05 оптического класса.

По результатам анализа алмазных абразивных инструментов определены условия экспериментов.

В экспериментальных исследованиях по обработке оптических материалов в нанометровом диапазоне толщины стружки был использован специальный алмазный шлифовальный круг тарельчатой формы. Зернистость круга составляла 1-2 мкм. Круг был выполнен на металлической связке. Концентрация зерен в алмазоносном слое составляла 100%.

Эксперименты проведены во ВНИИИНСТРУМЕНТ на специальном ультрапрецизионном стенде для алмазного шлифования.

Обрабатывались заготовки из неметаллических материалов: дигидрофосфата калия, монокристаллического кварца, кварцевого стекла, ситалла, сапфира.

Все эксперименты были проведены по схеме плоского шлифования торцом круга при глубине резания 1 мкм. Заготовки размещались на поворотном столе диаметром 300 мм. Частота вращения алмазного круга составляла 2000 об/мин, частота вращения поворотного стола - 0,01 – 0,07 об/мин.

Для контроля обработанных поверхностей использована система NanoFocus® µSurf®. Система работает по принципу конфокального измерения с источником белого света. Она представляет собой автономное и комплектное место для 3D-измерений и предназначена для контроля качества шлифованных поверхностей.

Шероховатость обработанных поверхностей составила 3...34 нм. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы обработки неметаллических материалов при алмазном шлифовании и шероховатость обработанной поверхности

Обрабатываемый материал	Скорость вращения поворотного стола, об/мин	Подача заготовки на оборот, мкм/об	Шероховатость обработанной поверхности, Ra нм
Дигидрофосфат калия	0.07	33	29
Монокристаллический кварц	0.02	9.4	34
Кварцевое стекло	0.05	24	6
Ситалл	0.07	33	3
	0.05	24	3
	0.03	14.1	3
	0.01	4.7	3
Сапфир	0.07	33	1
	0.05	24	24
	0.03	14.1	2

Обработанные поверхности с шероховатостью Ra<10 нм относятся к оптическому классу.

Литература

1. Балыков А.В. Липатова А.Б. Формообразование деталей из неметаллических материалов алмазными кругами: учеб. пособие/ А.В.Балыков, А.Б.Липатова. –

М.: ГОУ ВПО МГТУ «Станкин» 2009, - 160 с.

2. Завод алмазного инструмента «Рус-Атлант» -Режим доступа - <http://www.rusatlant.com/>

УДК 621.91.02

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СВЕРЛ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5 Ø1 ММ ПРИ РАБОТЕ ПО ТИТАНОВОМУ СПЛАВУ ВТ1-0

Екатерина Сергеевна Лыкосова

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.С. Булошников

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

Титановые сплавы находят все большее применение в различных отраслях промышленности. В связи с этим становится актуален вопрос механической обработки титана и его сплавов, подбор оптимальных режимов резания для различных видов операций с целью обеспечения большей стойкости режущего инструмента.

Целью работы является исследование стойкости сверл из быстрорежущей стали Р6М5 Ø1 мм при работе по титановому сплаву ВТ1-0. Стойкость определяется по количеству обработанных отверстий до поломки сверла. Глубина сверления – 2 мм.

Для исследований были взяты сверла из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 1 мм, длиной 50 мм. Режущий инструмент зажимали в сверлильном патроне «Зубр» (с цангой).

Эксперимент проводился на универсальном фрезерном станке модели 6М80.

Оценку стойкости сверл в зависимости от скорости резания определяли по количеству отверстий, обработанных до поломки сверла. При постоянном значении скорости сверлили отверстия, постепенно увеличивая подачу, пока сверло не ломалось. Для исследуемых условий обработки ломающая подача равна $S_l=0,08$ мм/об. Сверление отверстий проводили на разных скоростях с подачей $S=0,06$ мм/об. Обработку вели без применения СОТС.

В процессе сверления измеряли износ режущего инструмента. Износ оценивали на микроскопе с цифровой камерой, которая позволяла делать фотографии сверла.

Для количественной оценки износа применяли объект-микрометр по ГОСТ 7513-75.

После статистической обработки полученных результатов были получены зависимости износа сверла от количества обработанных отверстий при различных скоростях резания, представленные на рис. 1-3.

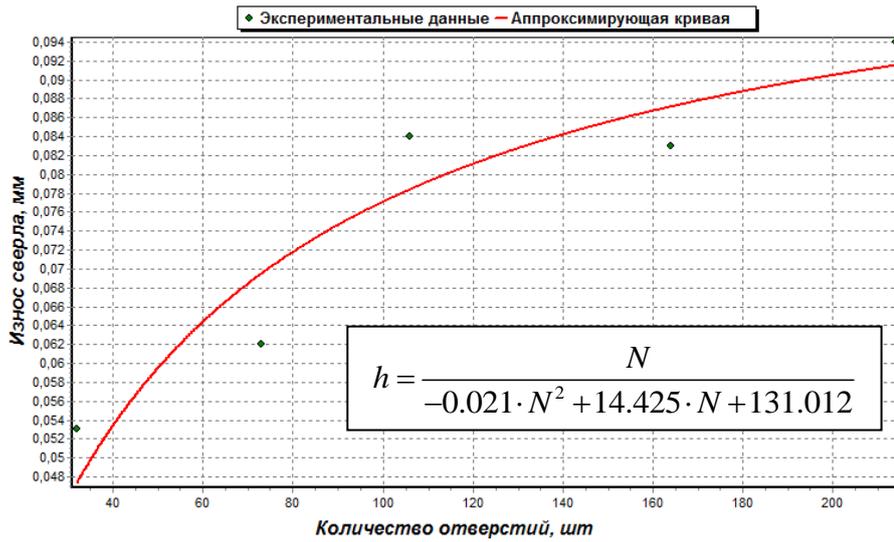


Рис. 1. Кривая износа сверла при скорости резания $V=2,5$ м/мин, ошибка аппроксимации составила 0,0024

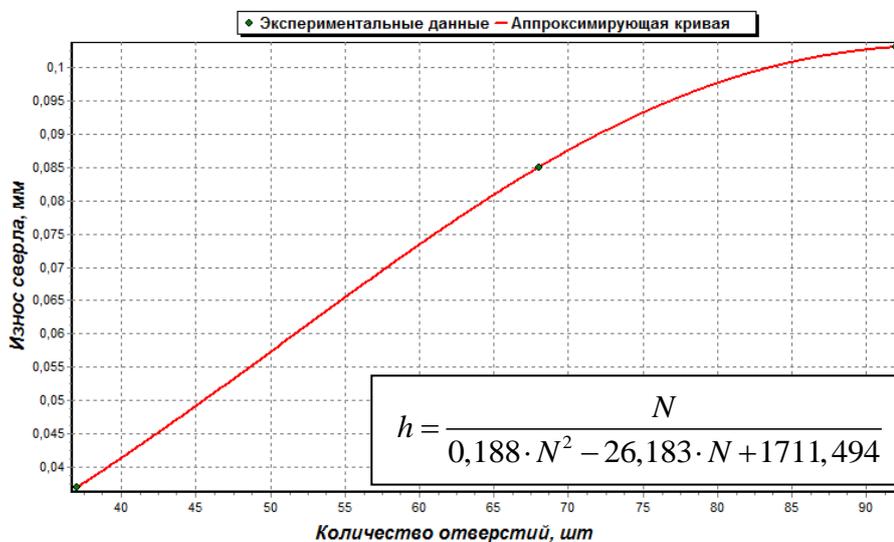


Рис. 2. Кривая износа сверла при скорости резания $V=4,2$ м/мин, ошибка аппроксимации составила 0

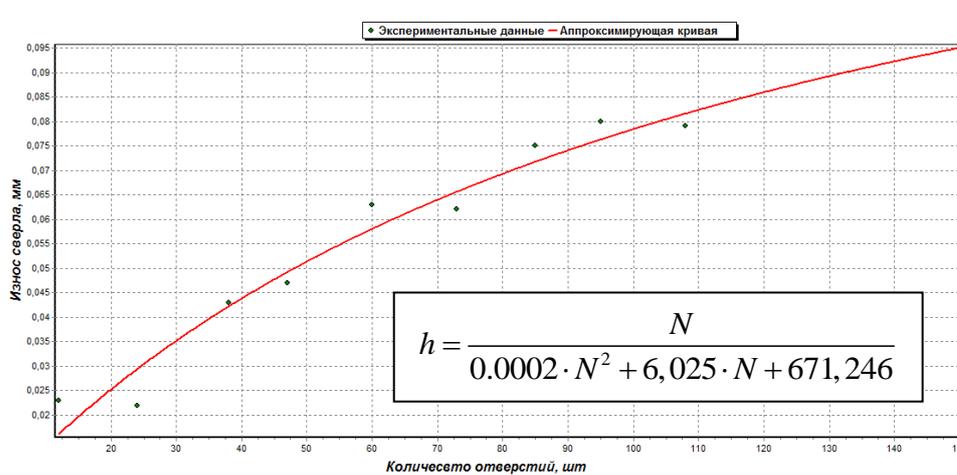


Рис. 3. Кривая износа сверла при скорости резания $V=6,4$ м/мин, ошибка аппроксимации составила 0,001

Стойкость сверла при различных скоростях резания представлена на рис. 4.

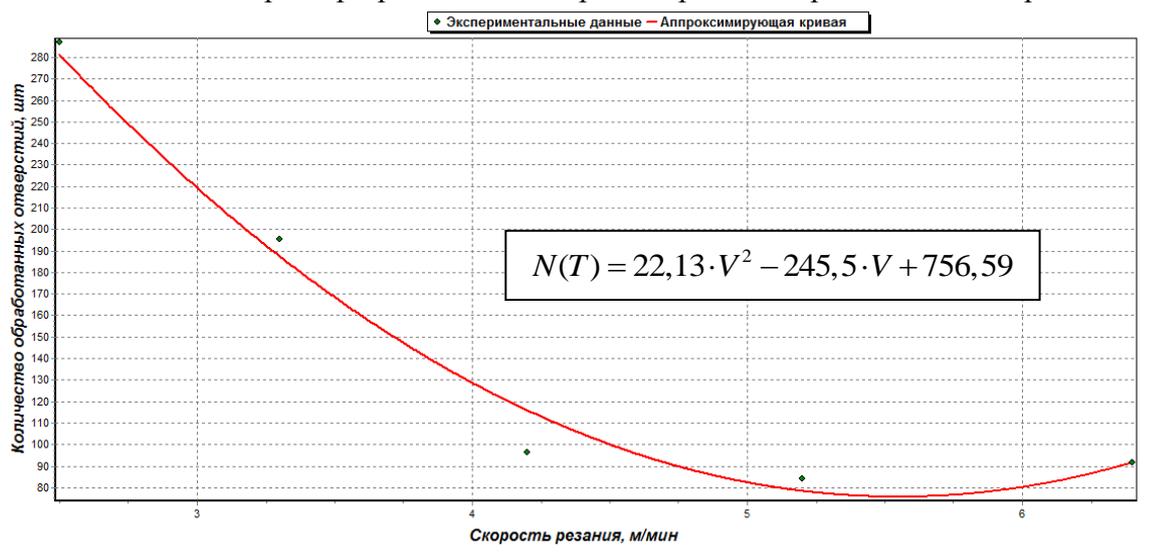


Рис. 4. График стойкости сверла от скорости резания

Выводы: Перед поломкой сверло сильно гнется и, как следствие, ломается. Это свидетельствует о возрастающей осевой силе резания. Осевая сила на 75% зависит от перемычки, следовательно, можно сделать вывод о том, что сверло ломается из-за ее затупления (это и вызывает увеличение осевой силы).

Полученные графики износа сверла и стойкости сверла неплохо соотносятся с теоретическими кривыми. По результатам опыта можно дать следующие рекомендации по выбору режимов сверления титанового сплава ВТ1-0 быстрорежущими сверлами: $V=2...4$ м/мин, $S=$ до 0,06 мм/об. При этих значениях параметров режимов резания наблюдается наилучшая стойкость сверла.

Литература

1. Гуревич Я.Л., Горохов М.В., Захаров В.И. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
2. Загс Л. Статистическое оценивание: зарубежные статистические исследования. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.

УДК 621.7.075

ПОЛУЧЕНИЕ РАЗВИТЫХ МАКРОРЕЛЬЕФОВ ФРЕЗОСТРОГАНИЕМ БЕЗ УДАЛЕНИЯ СТРУЖКИ

Анатолий Владимирович Медведев

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. И. Овчинников

кандидат технических наук, доцент кафедры "Инструментальная техника и технологии"

Н.Н. Зубков

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

В настоящее время штырьковые поверхности получили широкое применение в теплотехнике, как для конвективного теплообмена, так и для теплообмена с фазовыми переходами. В настоящее время используются штырьковые структуры сборного типа, фрезерованные, либо литые. Оба варианта малопроизводительны и не позволяют выполнить структуры с малыми шагами между штырьками. Наиболее эффективно получение штырьковых структур методом безотходного деформирующего резания (ДР). Принцип получения штырьковых структур заключается в первоначальном получении ребер методом ДР с их последующим перерезанием также инструментом для ДР [1]. Этот принцип используется для получения плоских теплообменных поверхностей на теплоемных пластинах водоблоков систем охлаждения электронной техники [2]. Реализация принципа двух проходов методом деформирующего резания проста для плоских поверхностей на строгальном станке, однако для получения теплообменных штырьковых структур на трубах данная схема является трудноосуществимой. Как показали исследования, именно штырьковые структуры на теплообменных трубах являются наиболее перспективной поверхностью для теплообмена с использованием фазовых переходов (кипения или конденсации).

В данной работе предлагается формировать поверхностные рельефы теплообменного назначения подрезанием поверхностных слоев без их отделения от заготовки, но осуществлять это не резцом для деформирующего резания, а вращающимся вокруг своей оси инструментом типа однозубой концевой фрезы. По мере вращения инструмента со специальной геометрией, благодаря большим величинам подачи, режущая кромка на части своей траектории подрезает поверхностный слой, сохраняя механическую связь подрезанного слоя с основой, образуя таким образом развитый макрорельеф. Принцип формирования штырьковых структур на плоскости показан на рис. 1. Данный принцип может быть реализован для получения штырьковых поверхностей на трубных заготовках при использовании дополнительного шпинделя, установленного на салазки токарного станка.

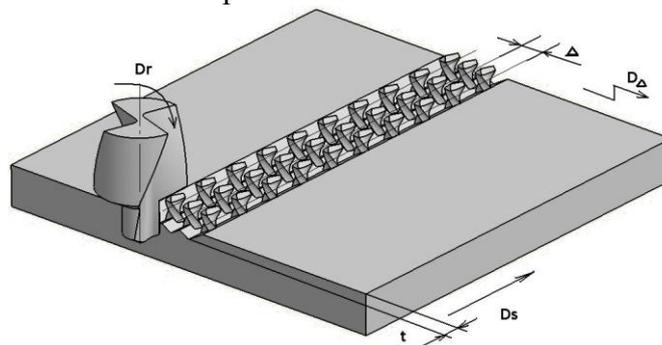


Рис. 1. Принцип формирования штырьковых структур на плоскости вращающимся инструментом

Скорость подачи инструмента соизмерима со скоростью периферийных точек вращающегося инструмента, поэтому процесс можно назвать фрезестроганием без отделения стружки.

Проведены эксперименты по получению штырьковых структур на модельных материалах – фторопласте и свинце, а также на материалах наиболее широко используемых для изготовления теплообменной аппаратуры - меди и алюминии. Апробированы различные варианты типоразмеров инструмента и геометрий его заточки, выявлены оптимальные. Исследовано формообразование отдельного штырька по кинограмме процесса, на которой выделялись последовательные фазы формообразования рельефа.

Образцы рельефов, выполненные на алюминии, отправлены для испытаний на кипение теплоносителей. Проектируется специальное приспособление для реализации разработанного метода при получении штырьковых структур на трубах.

В ходе работы также была предложена новая область применения – использование поверхности со штырьковыми структурами для повышения прочности клеевых соединений материалов с низкой адгезионной способностью. Рельефы позволят удержать клей в соединении и таким образом его прочность увеличится.

Литература

1. Зубков Н. Н., Трофимович А. С., Овчинников А. И., Цфасман Г. Ю., Городников В. В. Получение штырьковых структур для кипения азота. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 2013. - № 1. - С. 100-109.
2. Зубков Н. Н., Овчинников А. И., Трофимович А. С., Черкасов А. С. Использование штырьковых структур нового типа для охлаждения электронной аппаратуры // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 2014. - № 2. - С. 70 - 79.

УДК 53.084.823

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Игорь Андреевич Ручкин

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Мальков

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

С использованием метода конечных элементов, выполняется сравнительный анализ напряжений, возникающих при работе резьбовых фрез. Рассматривается влияние на прочность фрезы величины угла подъема винтовой канавки (w , град), величины переднего угла в торцевом сечении (g_t , град), величины заднего угла в торцевом сечении (a_t , град), диаметра фрезы (d , мм), шага нарезаемой резьбы (p), величины подачи на зуб (S_z , мм/зуб). Данным параметрам, в соответствии с планом, присваиваются значения, указанные в таблице 1. Разработка модели фрезы выполняется в системе Autodesk Inventor Professional, анализ методом конечных элементов выполняется в системе Ansys Workbench R14.5.

Таблица 1. Значения геометрических параметров фрез.

Параметр	Значение				
	w , град	-30,00	-15,00	0,00	15,00
g_t , град	-16,00	-8,00	0,00	8,00	16,00
a_t , град	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00
d , мм	5,00	10,00	15	20	25,00
P , мм	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00
S_z , мм/зуб	0,05		0,10	0,50	

Для расчетов принимается такое положение фрезы, при котором зуб срезает наибольшую толщину стружки. Таким образом для имитации нагрузки, возникающей в процессе работы фрезы, прикладывается давление, равное величине удельной силы резания при резьбофрезеровании, к части передней поверхности участвующей в процессе резания. Фиксация модели выполняется по хвостовику.

Измеряется величина напряжений по теории прочности Мора для хрупких материалов, с различным сопротивлением растяжению и сжатию, наибольшие и наименьшие основные напряжения (1σ и 3σ основные напряжения), а также величина смещения фрезы.

В данной работе была построена модель фрезы, в том числе создана модель материала (твердый сплав), проведено моделирование процесса резания, с целью определить форму и толщину срезаемого слоя и получить форму площадки давления на переднюю поверхность. Построены эпюры напряжений, выявлены опасные сечения и возможные причины выхода инструмента из строя. Построены графики зависимостей величины напряжений и смещений от указанных выше параметров.

По результатам моделирования сделаны выводы. С увеличением угла наклона винтовой линии, площадь давления на переднюю поверхность инструмента уменьшается, за счет постепенного вхождения зуба в материал. Так же уменьшается реактивная сила, действующая на инструмент от сил резания. Следует увеличивать угол наклона винтовой канавки, чтобы уменьшить силу резания, с другой стороны уменьшение суммарной площади давления может привести к ее увеличению на отдельном зубе профиля. При увеличении угла w на фрезях рассматриваемого диаметра увеличиваются максимальные возникающие напряжения. Это происходит из-за перераспределения площади давления на переднюю поверхность инструмента, а именно увеличения давления на отдельные профили колец, а так же при наклоне канавки основная часть площади давления располагается несимметрично резьбовому профилю, это приводит к увеличению нагрузки на части профиля (рис. 1).

Смещение уменьшается с увеличением угла наклона винтовой канавки. Следовательно необходимо уменьшать угол наклона канавки для уменьшения смещения инструмента.

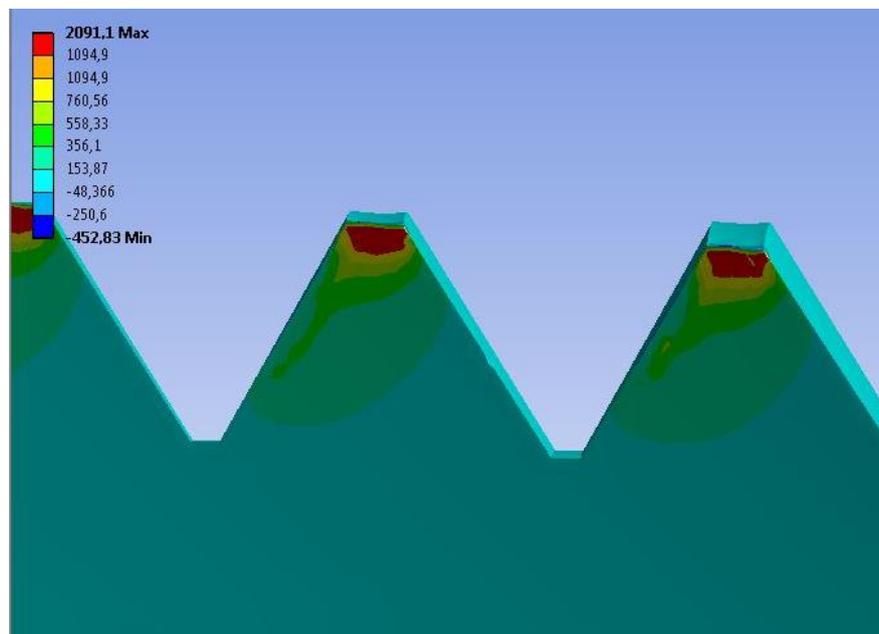


Рис. 1. Эпюра распределения первого основного напряжения (для случая $w=15$ град, $g_i=8$ град, $a_i=10$ град, $d=20$ мм, $P=2$ мм, $S_z=0.15$ мм/зуб)

Литература

1. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. –590 с.
2. *Карцев С.П.* Резьбонарезной инструмент - М: Машгиз, 1959. –250 с.
3. *Sandik Coromant.* Техническое руководство «Резьбонарезание. Точение и фрезерование резьбы». – 2014. – 118 с.

УДК 621.822.577

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ С РАЗМЕЩЕНИЕМ ТВЕРДОСМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЩЕЛЕВОЙ СТРУКТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ

Сергей Сергеевич Смирнов, Николай Николаевич Зубков

Студент 6 курса

кафедра “Инструментальная техника и технологии”

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.Н. Зубков

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры “Инструментальная техника и технологии”

В современной технике подшипники являются основными типами подвижных сопряжений. Важными достоинствами подшипников скольжения является большая несущая способность, бесшумность в работе, простота в изготовлении, и меньшие габариты по сравнению с подшипниками качения. Конструкция подшипников скольжения должна обеспечивать минимальное трение в опорах валов. Перспективным в подшипниках скольжения является использование твердых смазок. Например, металлофторопластовые подшипники, состоят из пористого металлического слоя, заполненного твердосмазочным материалом – фторопластом [1]. Высокой износостойкостью также отличаются пакетные подшипники, которые состоят из чередующихся стальных и медных тонких пластин. В нем стальные участки трущейся поверхности обеспечивают повышенную грузоподъемность, а медные являются источниками реализации избирательного переноса при трении, создания интенсивного теплоотвода и дополнительного смазывания, поскольку медь также является твердой смазкой. Испытания показали, что износостойкость таких пакетных подшипников на порядок выше износостойкости бронзовых подшипников [2].

Цель данной работы – создание самосмазывающихся подшипниковых узлов с периодической структурой поверхности трения, состоящей из основного металла и твердых смазывающих материалов, выходящих на поверхность трения. Твердосмазочный материал вводится в щелевую структуру поверхности. Характерный шаг щелей 0,3...0,5 мм, ширина щелей 20...200 мкм, глубина щелей – 0,4...1,0 мм. Для создания щелей на поверхности деталей предлагается использование метода деформирующего резания, который обеспечивает получение щелей указанных размеров [3].

В работе выполнен анализ возможных твердых смазочных материалов. Для экспериментов отобраны такие твердосмазочные материалы, как фторопласт Ф4, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, дисульфид молибдена, чешуйчатый графит, медь, и олово.

Проанализированы возможные варианты внедрения твердых смазочных материалов в поверхность трения по критерию технологичности их введения. Предложено заполнение щелевой структуры неорганическими порошковыми твердосмазочными материалами в виде паст на основе эпоксидного компаунда Araldite 2000. Для полимерных материалов апробирована запрессовка лент роликом, для меди и олова использовалось закатка проволоки в щелевую структуру. Нарезание щелей методом деформирующего резания проводилось до закалки образцов. Введение твердых смазок в щелевую структуру поверхности производилось после закалки. Ленты из полимерных материалов для запрессовки получали свободным резанием пластин. Получаемые стружки имели толщину от 0,2 до 1,0 мм с шагом 0,2 мм.

Изготовлен комплект образцов для проведения триботехнических испытаний. Планируется проведение сравнительных испытаний полученных образцов на машине трения

Amsler по схеме диск-диск с записью коэффициента трения и показателей изнашивания для определения оптимального варианта твердой смазки в структуре поверхности трения.

Литература

1. Современная трибология. Итоги и перспективы / Браун Э. Д., Буяновский И. А., Воронин Н. А. [и др.] ; РАН, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова ; отв. ред. Фролов К. В. – М., 2008. – С.426.
2. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. Л.:Машиностроение. 1979.-224с.
3. 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.

УДК 67.05

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Мария Юрьевна Степанова

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Мальков

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

В настоящее время в связи с широким внедрением многокоординатных станков с ЧПУ, имеющих три и более одновременно управляемых координат, стало целесообразным обрабатывать резьбовые отверстия и наружные резьбовые цилиндрические поверхности методом фрезерования с планетарным движением за один проход. Фрезерная обработка резьбовых поверхностей обладает рядом значительных преимуществ: высокая производительность в сочетании с отличным качеством формируемой поверхности, а также возможностью беспрепятственной эвакуации фрезы в случае поломки делает резьбовые фрезы незаменимым инструментом при обработке дорогостоящих корпусных деталей. В связи с этим усовершенствование методов разработки данного инструмента является актуальной задачей.

Основной целью данного исследования является создание классификации конструкций современных резьбовых фрез (табл. 1), а также выявление зависимостей для назначения основных конструктивных параметров цельных резьбовых фрез с винтовыми канавками и комбинированного инструмента «сверло-резьбофреза», основываясь на анализе информации, представленной в каталогах мировых ведущих фирм-производителей резьбового инструмента: Vargus, Carmex, Jel, Emuge и Sandvik Coromant.

В среде Microsoft Office Excel были получены следующие графические зависимости конструктивных параметров резьбовых фрез: $L(d_p)$ –общей длины инструмента, мм, $l_p(d_p)$ – длины рабочей части инструмента, мм, $d_{хв}(d_p)$ –величины диаметра хвостовой части, мм, $z(d_p)$ – зависимость числа зубьев инструмента, шт., - от величины диаметра d_p резьбового инструмента, мм.

В результате анализа полученных точечных диаграмм среди них были выявлены пригодные для аппроксимации зависимости. Для получения итоговых математических зависимостей, применение которых в дальнейшем возможно для назначения конструктивных параметров резьбовых фрезы, использовалась программа «Аппроксимация данных»,

разработанная на кафедре МТ-2 «Инструментальные техники и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Таблица 1. Классификация конструкций современных резбовых фрез

№	Классификационный признак	Конструкция резбовой фрезы					
		1	Тип обрабатываемой поверхности	Внутренние резбы	Наружные резбы	Универсальные	
2	Исходная поверхность	Цилиндрическая		Коническая			
3	Количество зубьев	1		2	>2		
		С полным профилем	С неполным профилем				
4	Способ изготовления	Цельные	Сборные				
			с СМП			Со сменной головкой	Насадные
			С резцовыми пластинами	С винтовыми пластинами	С прямыми пластинами		
5	Материал хвостовика	Сталь		Твердый сплав			
6	Конфигурация хвостовика	Обычный хвостовик		Удлиненный хвостовик			
7	Допустимая длина обработки	1,5D	2D	2,5D		≥3D	
8	Материал режущей части	Твердый сплав		Поликристаллический алмаз	Быстрорежущая сталь		
		С покрытием	Без покрытия				
9	По наличию внутреннего подвода СОЖ	Без каналов охлаждения	С каналами охлаждения				
			Прямые каналы	Спиральные		Каналы с ответвлениями	
10	Расширение функций инструмента	Фреза резбовая	Сверло-резбовфреза	Фреза с возможностью обработки фаски		Сверло-резбовфреза с возможностью обработки фаски	
11	Профиль инструмента	Стандартный профиль			Корректированный профиль		
12	Форма канавки	Прямая			Винтовая		
13	Тип хвостовика	HSK	Конус Морзе	7:24	Weldon	Гладкий цилиндрический хвостовик	
14	Форма профиля инструмента	Треугольная		Трапецеидальная	Круглая		
15	Исполнение	Правое			Левое		
16	Наличие шейки	С шейкой			Без шейки		
17	Количество каналов СОЖ	1		2	3		

Литература

1. *Carmex*. Резьбонарезной инструмент. - 2013. – 203 с.
2. *Emuge*. Технология резбообразования. Технология крепления. – 2013. – 476 с.
3. *KOMET Group. KomPass*. Обработка резбы. – 2013. – 180 с.
4. *Vargus*. Адаптированный каталог-транслятор продукции компании. – М. 2011. – 332 с.

5. *Sandik Coromant*. Дополнение к каталогам «Токарные инструменты» и «Вращающиеся инструменты». – 2014. – 643 с.

УДК 621.993.1

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ МЕТЧИКА С ВНУТРЕННИМ РАЗМЕЩЕНИЕМ СТРУЖКИ

Дмитрий Михайлович Хоменков

Студент 6 курса

кафедра «Инструментальная техника технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.Е. Древаль

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии»

Нагружение метчиков при нарезании резьбы происходит через режущие профили, что приводит к разрушению инструмента.

Для повышения качества получаемой резьбы и улучшения работоспособности разработано множество конструкций метчиков [1]. В данной работе рассматривается метчик с внутренним размещением стружки (далее МВРС).

Цель работы – изучить влияние геометрических параметров режущей части МВРС на напряженное состояние в режущем клине.

Основная отличительная черта МВРС – наличие полости диаметром d_0 на рабочей части для размещения стружки. Прочность МВРС лимитируется прочностью зубьев режущей части, которая воспринимает момент резбонарезания.

При расчете прочности зубьев МВРС приняты следующие допущения:

1. Режущий зуб рассматривается как консольная балка в виде сектора кругового кольца.
2. Разрушение зуба происходит только под действием касательной P_k и радиальной P_r составляющих сил резания. Зубья метчика нагружены одинаково.
3. Нагрузки можно рассматривать как равномерно распределенные.
4. Наличие резьбового профиля не влияет на момент инерции поперечного сечения зуба метчика.

Схема сил резания, действующих на зуб инструмента, представлена на рис.1.

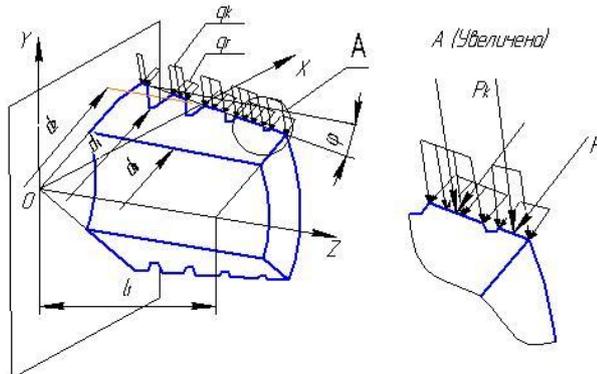


Рис.1. Схема сил резания, действующих на зуб МВРС

Для имитации нагружения режущей части моделей МВРС М16х2 был использован программный продукт Autodesk Inventor Professional 2014, позволяющий исследовать напряженные состояния, возникающие в образцах. При построении моделей варьировались

следующие геометрические параметры режущей части: $z = 3; 4$ – число зубьев метчика; $\varphi = 8; 10; 12; 14$ – угол режущей части метчика (град); $\alpha = 5; 8; 10$ – задний угол (град); $\gamma = 5; 8; 10; 12$ – передний угол (град); $d_0 = 7; 8; 9$ – диаметр внутреннего отверстия (мм); l_U – ширина зуба (мм). Образцы нагружались моментом резьбонарезания Мрез, для расчета которого использовались данные при обработке стали 45.

Картина распределения напряжений у всех образцов имеет вид, представленный на рис.2.

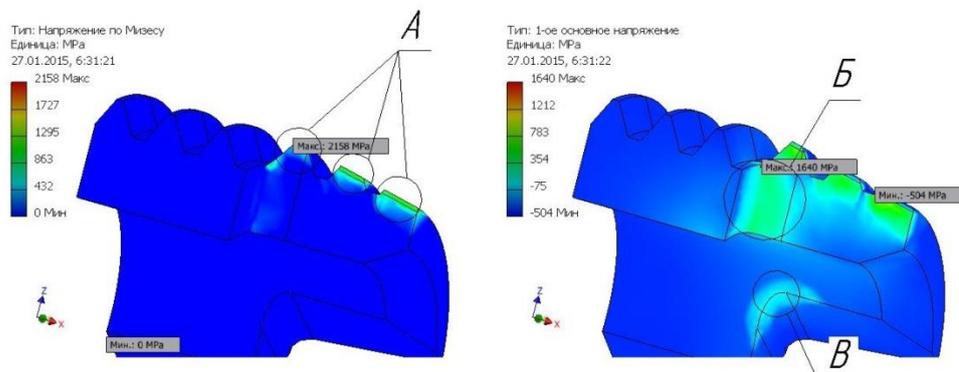


Рис.2. Изменение поля распределения напряжений на режущей части зуба МВРС

На режущей части МВРС возникают три наиболее опасные зоны – А, Б, В (рис.2). Причем наиболее нагруженной оказывается зона А, находящаяся у вершины режущего профиля. Там возникают максимальные напряжения сжатия, значительно превосходящие напряжения растяжения (зона Б) со стороны передней поверхности и сжатия (зона В) со стороны затылка в основании зуба, работающего на изгиб. Поэтому можно утверждать, что часть инструмента, *наиболее нагруженная во время работы, является зоной концентрации напряжений.*

При увеличении значений числа зубьев z , диаметра отверстия d_0 , переднего угла γ и заднего угла α , напряжения в режущем клине увеличиваются. При увеличении угла режущей части φ и ширины зуба l_U , значение напряжений уменьшаются. Причем наибольшее влияние на значения напряжений в опасных зонах оказывают такие параметры, как угол режущей части φ МВРС и задний угол α .

Моделирование показало, что изменение геометрических параметров метчика имеет существенное влияние на распределение напряжений в режущем клине. Это необходимо учитывать при выборе параметров МВРС, а также при его переточке.

Литература

1. *Нгуен Туан Хиеу*, «Разработка конструкций и исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки», диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2008;
2. *Древаль А.Е., Литвиненко А.В., Нгуен Туан Хиеу*, «Переточка метчиков с внутренним размещением стружки»/ ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Н.Э.Баумана»;
3. *Древаль А.Е.*, «Исследование точности нарезания резьб метчиками», диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1972.

УДК 621.91.02

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ И ЕГО ВЛИНИЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Денис Валерьевич Цуканов

*Студент 5 курса**кафедра «Инструментальная техника и технологии»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.И. Овчинников**кандидат технических наук, доцент кафедры "Инструментальная техника и технологии"*

Известно, что кромка режущего инструмента, как и кромка на любом другом предмете, является результатом пересечения двух поверхностей и теоретически должна представлять собой линию. Контур этой линии определён формой и взаимным расположением пересекающихся поверхностей.

Реальная кромка всегда является не линией, а переходной поверхностью неправильной геометрической формы, которую с большей или меньшей ошибкой отождествляют с поверхностью, имеющей в поперечном сечении форму дуги окружности с некоторым радиусом ρ .

При финишной лезвийной обработке назначают минимальную величину подачи, чтобы снизить шероховатость обработанной поверхности. При этом снижаются силы резания, нарост практически не образуется, снижается температура обработки и возрастает стойкость инструмента.

К недостаткам обработки с малой подачей относится падение производительности (частично компенсируется повышенной скоростью резания), а также возможность возникновения вибраций, т.к. толщина срезаемого слоя a становится соизмерима с радиусом ρ округления режущей кромки.

Передний угол γ на криволинейном участке режущего клина (рис. 1) является величиной переменной и определяется положением касательной в соответствующей точке. Если передняя поверхность в целом имеет положительный угол γ , то, например, в точке 1 этот угол будет отрицательным. При некотором критическом угле $\gamma_{\text{крит}}$ нормальный процесс резания становится невозможным (точка 2).

В этом случае в виде стружки удаляется только часть слоя a (зона А), а другая его часть (зона Б) деформируется округленной частью лезвия. После прохождения зоны резания деформированный слой упруго восстанавливается на величину Δh . Величина предельно допустимого угла $\gamma_{\text{крит}} = -60^\circ \dots -70^\circ$ и определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала.

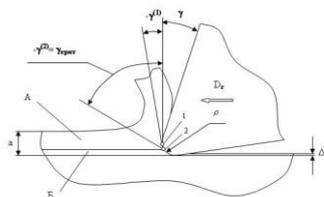


Рис. 1. Процесс резания при радиусе округления режущей кромки ρ

В данной работе сделан акцент на измерение ρ с помощью профилографа-профилометра, как наиболее простого и оставляющего возможность наблюдения измерения в реальном времени и на бумажном носителе.

После установки режущей кромки согласно схеме – настраивается прибор на вершину и снимаются показания с профилографа, к полученному профилю прикладывается шаблон, учитывающий размер скругления иглы и получается в виде результата радиус ρ .

$$\rho = R_{\text{профилограммы}} - R_{\text{иглы}}$$

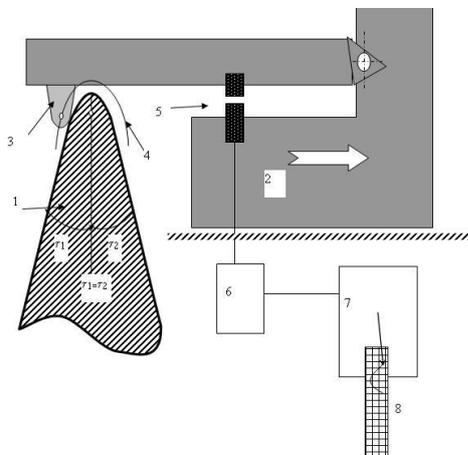


Рис. 2. Схема измерения округления режущей кромки ρ

Литература

1. Барон Ю.М., Халбаев К.А. Влияние радиуса закругления режущей кромки инструментов из быстрорежущей стали на их стойкость.// Н.-т. конфер. “Повышение эффективности обработки конструкционных материалов”. - Улан-Уде: Вост. -Сибир. технолог.ин-т , 1985- с.87-88.
2. В.И. Санёв, А.В. Сергеевичев. Основы резания древесины.// Лабораторный практикум для студентов специальности 250403 «Технология деревообработки» курсов «Основы резания» и «Оборудование деревообрабатывающих производств». - Санкт-Петербург, 2007- с. 87

УДК 621.9.02

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ НА ЗУБ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФРЕЗАМИ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

Владимир Олегович Чернявский⁽¹⁾, Мария Сергеевна Потапова⁽²⁾

Студент 6 курса⁽¹⁾, аспирант 1 года обучения⁽²⁾

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»

Установлено [1], что увеличение подачи на зуб для фрез с криволинейной режущей кромкой приводит к увеличению площади сечения срезаемого слоя (ССС) A и уменьшению

коэффициента утолщения $k_{ym} = \frac{h_{cp}}{S_z}$, где S_z – подача на зуб мм/зуб, h_{cp} – толщина сечения

срезаемого слоя, вследствие чего возрастает удельная сила резания k_c . На рис.1 показано изменение площади и среднего значения толщины ССС в зависимости от подачи на зуб. Изменение степени роста h_{cp} происходят при качественном изменении формы ССС, показанном на рис.2.

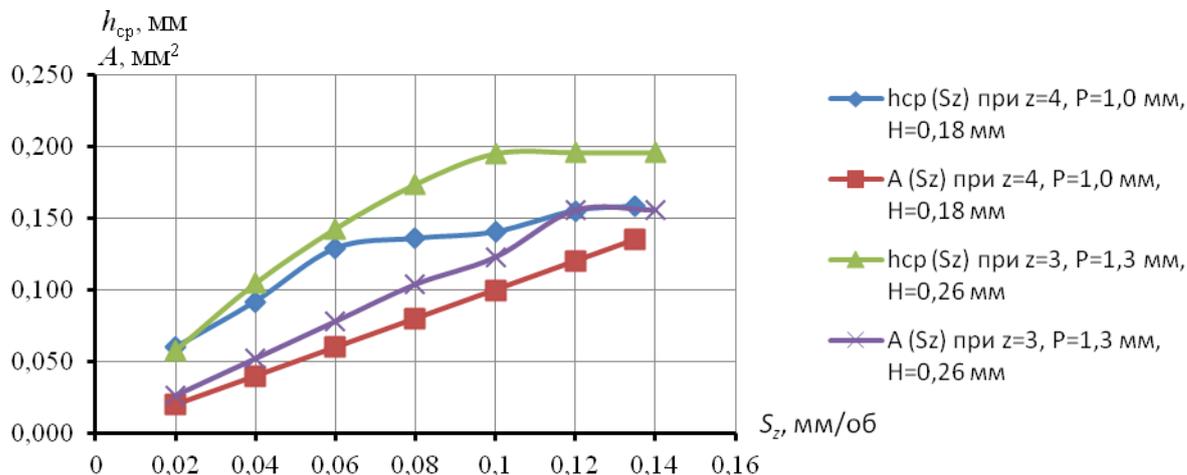


Рис.2. Зависимости толщины h_{cp} и площади A ССС от подачи на зуб S_z :

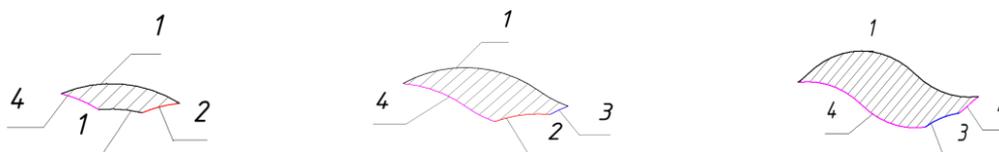


Рис.2 Форма ССС для фрезы с шагом волны $P=1,0$ мм, высотой профиля $h=0,18$ мм, $z=4$ при $S_z=0,02$ (а), $S_z=0,06$ (б), $S_z=0,1$ мм/зуб (в)

Проведена серия экспериментов для проверки влияния подачи на зуб на силу резания. Сила фиксировалась динамометром *Kistler* в трех направлениях F_x, F_y, F_z . Оценивались средняя окружная сила резания P_{cp} , максимальная окружная сила резания P_{max} и амплитуда колебания силы резания $\Delta P = P_{max} - P_{min}$. Показано, что сила резания и амплитуда колебания силы растет линейно без изломов, что согласуется с теоретическим расчетом силы резания по формуле:

$$P = \frac{k_{c1.1}}{h^m} A \frac{t}{\cos \omega \cdot P},$$

где $k_{c1.1}$ - удельная сила резания при поперечном сечении стружки $A=1$ мм²,

m - коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала; t - глубина резания, мм; ω - угол наклона зуба фрезы, град.

Вторая серия экспериментов посвящена фрезерованию с равной производительностью $Q = BtzS_z n$. При постоянных ширине резания B , количестве режущих зубьев z частоте вращения шпинделя n меньшие колебания силы резания наблюдаются при увеличении глубины резания (рис.3).

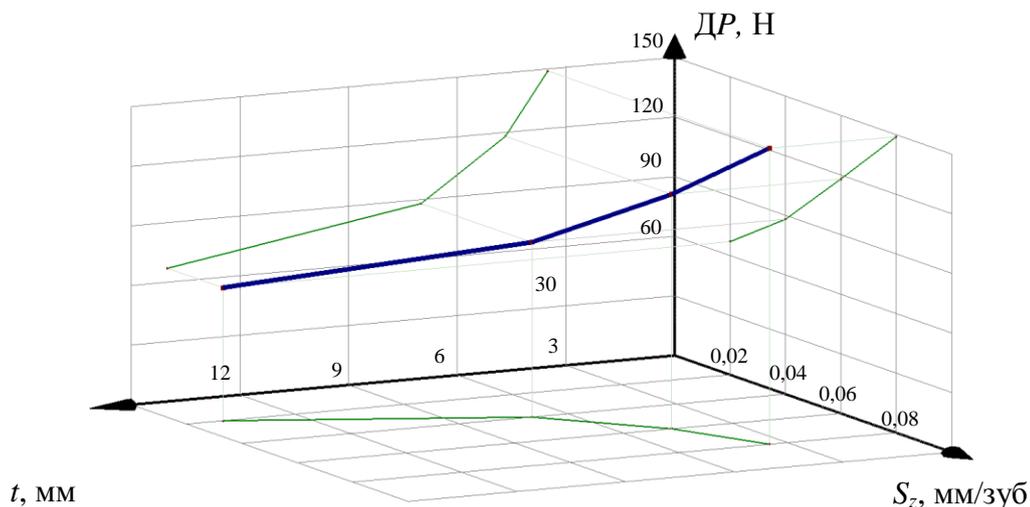


Рис.3. Изменение амплитуды колебания силы резания DP в зависимости от глубины резания t и подачи на зуб S_z

Выводы:

1. Увеличение подачи на зуб при обработке фрезами с криволинейной режущей кромкой оказывает влияние на форму сечения срезаемого слоя и ведет за собой изменение степени роста толщины ССС.
2. Показано, что при равной производительности фрезерования увеличение глубины резания и уменьшении подачи на зуб приводит к снижению силы резания и амплитуды ее колебания.

Литература

1. *Потапова М. С., Виноградов Д. В.* Сечение срезаемого слоя и качество обработанной поверхности фрезами с криволинейной режущей кромкой. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана. – № гос. регистрации 0321400749. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=984
2. GARANT. Справочник по обработке резанием.[Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.hoffmann-group.com/fileadmin/catalog/ru/metal_cutting_ru.pdf.

Секция III

Технологии машиностроения

Председатель:

Васильев Александр Сергеевич

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Технологии машиностроения» (МТ-3)

Ученый секретарь:

Заставный Евгений Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-3

УДК 621.9.042

ОБРАБОТКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Александр Александрович Гончаров

*Студент 5 курса**кафедра «Технология машиностроения»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: И.Н. Гемба**кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»*

Одними из наиболее распространенных сложнопрофильных деталей типа тел вращения являются детали с винтовой поверхностью. Типичными представителями данного вида деталей являются роторы винтовых насосов.

Существующие методы производства роторов винтовых насосов можно разделить на две группы: методы, основанные на использовании токарного инструмента, и методы, основанные на использовании осевого режущего инструмента. Для методов, использующих токарный инструмент, характерна низкая производительность и высокий износ режущей кромки по сравнению с осевым многолезвийным инструментом. Однако, большинство методов, реализующих обработку осевым фрезерным инструментом, основано на использовании механических приспособлений со сложной кинематикой, что ограничивает их применение. Такой недостаток отсутствует при использовании фрезерных станков с ЧПУ. Наиболее трудоемкой частью в технологической подготовке производства винтов на данном оборудовании является подготовка управляющих программ.

В качестве объекта для разработки управляющей программы был выбран винт с наиболее распространённой геометрией «S». Был предложен метод, при котором формообразование винтовой поверхности происходит за счет перемещения инструмента относительно оси вращения заготовки в осевом и вертикальном направлении, причем цилиндрическая поверхность инструмента (фрезы) в любой момент процесса обработки является касательной к обработанной винтовой поверхности (рис. 1). В данном случае задачей системы ЧПУ станка является синхронизация вращательного движения заготовки, осевой и вертикальной подачи.

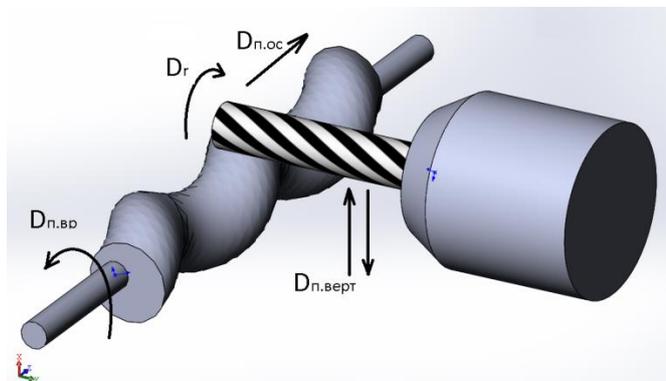


Рис. 1. Схема обработки винтового ротора осевым инструментом

Т.к. существующие CAD системы не позволяют организовать обработку по выбранной схеме, был проведен анализа математической модели обработки, в ходе которого были получены зависимости в параметрическом виде для координат оси фрезы при обработке на 4-х координатном фрезерном станке, оснащенного поворотным столом.

$$X_i = \frac{s \cdot t}{360} + R \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot e}{h} \cdot \sin\left(\frac{t \cdot s}{h}\right)\right);$$

$$Y_i = e \cdot \cos(t) + r + R + R \cdot \left(\cos\left(\frac{360 \cdot e}{h} \cdot \sin\left(\frac{t \cdot s}{h}\right)\right) - 1\right);$$

$$A_i = \frac{(360 + \frac{360 \cdot s}{h}) \cdot t}{360},$$

где A – угол поворота заготовки в градусах; X – координата оси фрезы относительно начала координат в направлении оси вращения заготовки, мм; Y – координата оси фрезы относительно оси заготовки в вертикальном (перпендикулярно оси заготовки) направлении, мм, t – параметр, град.; s – подача, мм/об; h – шаг подъема винта e – эксцентриситет, r – радиус сечения винта, R – радиус фрезы.

Полученные зависимости можно использовать для получения управляющей программы обработки круглой винтовой поверхности цилиндрической частью концевой фрезы на фрезерном станке с поворотным столом (координата « A »).

Литература

1. Степанов Ю. С., Киричек А.В., Тарапанов А. С., Харламов Г. А., Бородин М. В., Афанасьев Б. И., Фомин Д. С., Брусов С. И. Устройство для фрезерования винтов: А.с. 2306201РФ. Заявл.20.02.06; опубл.20.09.07.
2. Клевцов И.П., Брусов С.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Способ обработки винтов героторных винтовых насосов: А.с. 2209129РФ. Заявл.21.12.01; опубл.27.07.03.
3. Степанов Ю. С., Киричек А.В., Тарапанов А. С., Харламов Г. А., Бородин М. В., Афанасьев Б. И., Фомин Д. С., Брусов С. И. Способ фрезерования винтов с круглой винтовой поверхностью с большим шагом и малым расстоянием между вершиной и впадиной: А.с. 2298458РФ. Заявл.29.11.05; опубл.10.05.07.
4. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещеряков. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. С.228.

УДК 621.98

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЯЖКОЙ-ОТБОРТОВКОЙ-ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ

Дмитрий Константинович Журтубаев⁽¹⁾, Николай Александрович Крылатов⁽²⁾

Студент 4 курса^{(1), (2)}

кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В.М. Никитенко

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и ОМД»

Аннотация. В работе усовершенствован процесс изготовления детали номенклатуры ОАО «Утес»: «Крышка-держатель, основанный на пластическом деформировании методом листовой штамповки, что позволяет на основе теоретических исследований решить задачу повышения эффективности процесса формообразующих операций за счет увеличения коэффициента использования металла, снижения себестоимости изделия, сделать выводы о

качестве, получаемых деталей и более полно учитывать характерные особенности деформирования.

Важным направлением научно – технического прогресса является совершенствование технологии производства. Коренное преобразование производства возможно в результате создания более совершенствованных средств туда, разработки принципиально новых технологий, создавая конструкции машин и приборов, обеспечивая на практике их заданные характеристики и надежность работы с учетом экономических показателей.

Анализ конструкции детали показывает, что она нетехнологична по многим показателям: требуется большое количество переходов и, соответственно технологической оснастки, низкий коэффициент использования металла (по действующей технологии КИМ=74,8%). Однако, при использовании технических новшеств, направленных на снижение расхода металла, технологичность проектируемой детали можно повысить.

Изучение переходов штамповки конструкций технологической оснастки и применяемого технологического оборудования позволяет сделать вывод о возможности использования новой формы заготовки.

В работе выбран способ раскроя заготовок, который позволяет увеличить коэффициент использования металла (КИМ=87,8% по предлагаемой технологии), направленное на значительное снижение металлопроката на годовую программу.

Технико-экономическая эффективность от использования предложенных технологий заключается в следующем: экономии металла; повышении производительности труда; уменьшения штамповочных переходов; повышении коэффициента использования металла.

УДК 621.98

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЯЖКОЙ-ОТБОРТОВКОЙ-ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ

Булат Рашитович Зиннатов ⁽¹⁾, Александр Анатольевич Евстигнеев ⁽²⁾

Студент 4 курса ^{(1), (2)}

кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В.М. Никитенко

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и ОМД»

Аннотация.

В работе рассмотрены вопросы формообразования деталей коробчатой формы с отверстием в донной части вытяжкой-отбортовкой, имеющие характер и высокий потенциал использования на промышленных предприятиях.

Определенные успехи в области листовой штамповки отечественных и зарубежных ученых и инженеров по созданию и внедрению металлосберегающих технологий достигнуты при производстве деталей в крупносерийном и массовом производстве. Мероприятия, проводимые на передовых предприятиях, позволили существенно снизить норму расхода металла при изготовлении многих деталей. Однако, коэффициент использования металла (КИМ) все еще остается невысоким, особенно при изготовлении деталей коробчатой формы с отверстием в донной части, что не отвечает требованиям, предъявленным к современной металлообработке.

Работа направлена на применение прогрессивных формообразующих технологий, а также расширение технологических возможностей известных методов, основанных на

пластическом деформировании, что позволяет существенно увеличить КИМ, повысить точность обрабатываемых деталей и производительность труда.

Традиционно рассматриваемые детали на производстве изготавливаются вытяжкой из плоской заготовки с последующей пробивкой отверстия требуемой формы и размеров. При штамповке деталей таким методом донная часть заготовки в процессе вытяжки деформируется незначительно, поэтому отход металла, образующийся при получении отверстия, предопределяет основной недостаток таких технологических процессов - низкий КИМ.

Таким образом, существующие способы изготовления деталей коробчатой формы не в полной мере используют возможность расширения зоны деформирования при совмещении отбортовки с вытяжкой, что не позволяет рационально использовать металл и приводит к погрешностям формы заготовки и расположения поверхностей изделия.

Поэтому разработка и внедрение технологий, направленных на уменьшение расхода материала, является одним из радикальных путей снижения себестоимости штампованных деталей и трудоемкости изготовления, при обеспечении показателей качества в принятых условиях работы.

В научно-технической литературе отсутствует научно-обоснованная методика расчета технологических параметров для практической реализации предлагаемого способа штамповки коробчатых деталей, также не указаны оптимальные параметры для его осуществления, не приведены предельные коэффициенты вытяжки и отбортовки, которые являются ограничивающими факторами при доминирующей вытяжке или отбортовки.

Таким образом, накопленных данных для реального проектирования технологических процессов штамповки деталей с отверстием за счет формообразования отбортовкой недостаточно. Кроме того, данные относятся к полной отбортовки.

В работе рассмотрен процесс вытяжки с неполной отбортовкой, так как считать вытяжку с полной отбортовкой с гарантированными размерами фланца практически невозможно.

На основе анализа работ, выполненных ранее другими исследователями, выявлены вопросы, которые остались неразрешенными, и исходя из этого, определены предмет и задачи своих исследований, требующие решения, указав их место в разработке данной проблематики, установлена актуальность темы исследования и сформулирована цель данной работы.

С помощью разработанной математической модели с учетом линейного закона упрочнения материала исходной заготовки, можно определять силовые и деформационные условия, доминирующий вид формообразования при совмещении операций вытяжки и отбортовки и управлять процессом штамповки за счет изменения размеров заготовки. Исследования также позволили установить, что одним из наиболее рациональных процессов изготовления коробчатых деталей квадратной формы с отверстием в донной части является совмещение операций вытяжки и отбортовки.

В итоге коэффициент использования металла при совмещении процессов вытяжки и отбортовки повысился на 14%.

УДК 621.757

ВЫБОР КОМПАНОВКИ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ-ШЕСТЕРЕН

Лидия Александровна Казарина⁽¹⁾, Андрей Владимирович Погорелый⁽²⁾

Студент 5 курса^{(1),(2)}

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Научный руководитель: С.Л. Петухов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Важнейшим условием качественного группирования является достоверный выбор информативных признаков и их значений при определении подобия деталей. Правильный выбор существенно зависит от состава технологического оборудования гибкой производственной системы (ГПС), на котором будет проводиться обработка [1, 2]. Для проектируемой ГПС задача группирования решалась одновременно с определением структуры группового технологического процесса и структуры компоновочной схемы ГПС.

Описание детали проводится при помощи универсального набора переменных: геометрической формы детали, массы и материала заготовки, габаритных размеров, точности размеров и качества поверхностей, серийности изготовления, взаимное расположение элементарных обрабатываемых поверхностей с одной стороны детали, а также взаимное расположение сторон обработки в пространстве.

Для выражения принадлежности детали к каждой группе использовалось понятие – характеристическая функция, значение которой указывает, является ли (да или нет) деталь элементом подмножества деталей с данным признаком, то есть $=1$, если $x_i = 1$ и $=0$, если $x_i = 0$. Такое представление привычно для существующих методик группирования, предполагающее четкое отнесение детали к какой-либо группе.

Для каждой детали задавались вектора-характеристики V_i , где n – количество признаков подобия, а m – количественные выражения близости деталей по каждому из признаков. Векторы-характеристики деталей определялись на основании группового технологического процесса обработки или сборки, когда размерность векторов определяется числом элементарных технологических переходов для обработки всех деталей группы, а компоненты векторов равны 1 или 0 в зависимости от того, выполняется или нет данный переход для конкретного изделия.

Изделия распределяются по группам по степени их близости к векторам-представителям групп.

Рассмотренная методика группирования была применена для комплектования партий ведущих шестерен задних мостов грузовых автомобилей, что дает возможность создания групповых технологических процессов, позволяющих использовать принципы поточно-массового производства при серийной обработке валов-шестерен.

При организации гибкого производства в первую очередь выбирается вариант с оптимальной концентрацией видов обрабатываемых изделий по критерию минимальных приведенных затрат. При этом учитываются затраты на оборудование.

Для обеспечения устойчивого гибкого производства был произведен подбор изделий и скомплектованы группы из них; выбрана наиболее экономичная гибкость и ее организационно-плановое обеспечение, для чего проведена синхронизация позиций обработки, выбраны оптимальные размеры партий изделий, последовательность их запуска. Разработан технологический процесс и планировка линии, спроектирована оснастка для каждой группы изделий, транспортно-загрузочные устройства, рассчитаны загрузка рабочих мест и основные параметры линии.

Основным результатом работы является сокращение сроков и затрат на создание гибкого автоматизированного оборудования, повышение производительности труда при уменьшении численности рабочих, повышение технико-организационного уровня производства и решение ряда вопросов социальной направленности.

Линия обеспечивает выпуск пяти различных типов шестерен главных передач с возможностью перехода на другие типы подобных изделий.

Одним из наиболее сложных этапов проектирования технологических процессов является расчет реальной производительности оборудования с учетом надежности его работы. Если оборудование на какой-то позиции не обеспечивает заданной производительности, то встает вопрос: что более выгодно – повысить надежность оборудования на этой операции или изменить структуру линии, введя дополнительный поток на данном участке линии.

Эта задача решалась методом уравнивания чувствительности станка по отдельным комплектующим узлам и заключалась в определении того, как будет изменяться вероятность безотказной работы станка в зависимости от изменения его стоимости при изменении вероятности безотказной работы любого из основных комплектующих узлов.

Это дает возможность оценить пропускную способность каждой операции технологического процесса, выполняемого на переменном-поточной линии со сменой вида изделий, чтобы добиться заданной производительности.

Таким образом в статье рассмотрен вопрос повышения эффективности ГПС на основе выбора оптимального компоновочного решения, позволяющего обеспечить минимум приведенных затрат при наиболее целесообразных надежности и производительности линии.

Литература

1. *Елхов П.Е., Бухтеева И.В.* Повышение эффективности загрузки оборудования гибкой автоматизированной линии с помощью статистического моделирования. // Транспортное дело России. - 2013. - №5.
2. *Копылов Л.В., Дмитриев Ю.М., Петухов С.Л.* Оптимизация качества продукции с позиций экономической эффективности производства. // Известия МГТУ «МАМИ». 2013, Т.2. - №1(15).

УДК 621.98

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ АВТОМОБИЛЯ «УАЗ»

Ксения Александровна Крещенова⁽¹⁾, Антон Сергеевич Сергеев⁽²⁾

Студент 3 курса^{(1), (2)}

кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В.М. Никитенко

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и ОМД»

В настоящее время все предприятия по производству автомобильной техники стремятся повысить конкурентоспособность своей продукции, как на внешнем, так и на внутреннем рынках, снижая трудозатраты изготовления изделий при обеспечении их высокого качества.

При совершенствовании действующих и разработки новых прогрессивных технологических процессов изготовления деталей является экономия металла. Для производства транспортных средств, оснащения автоматизированных складов в

машиностроении и автомобилестроении прослеживается необходимость изготовления деталей коробчатой формы с отверстием в донной части. В автомобилестроении такими деталями являются светоотражатели фар, фитинговые элементы кузова, а в складском хозяйстве – коробчатые прокладки под стяжные болты, основания распорок и многие другие.

Традиционно такие детали изготавливают вытяжкой из плоской заготовки с последующей пробивкой отверстия требуемой формы и размеров, что сопровождается большим отходом (около 30%), образующимся при пробивке отверстий, влияющий на коэффициент использования металла, который в настоящее время для рассматриваемых деталей не превышает 0,7. Анализ действующих технологий штамповки различных деталей из листового металла показал, что до 80 % их цены составляет стоимость металла.

Поэтому важнейшая проблема кузнечно-штамповочного производства - изыскание новых эффективных методов формообразования коробчатых деталей, обеспечивающих максимальное снижение расхода материала.

Как показал обзор научно-технической литературы таким методом, является совмещение процессов вытяжки и отбортовки.

В настоящее время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по практической реализации этих способов и методика по расчету технологических параметров при проектировании металлосберегающих технологий изготовления деталей коробчатой формы с отверстием в дне вытяжкой-отбортовкой.

Таким образом, разработка инженерной методики расчета технологических параметров позволит решить задачу эффективности листоштамповочного производства.

УДК 621.792

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Владимир Витальевич Тищенко

Студент 4 курса

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Игнатов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Склеивание давно используется как способ соединения различных материалов. Склеивание металлов применяется сравнительно недавно. Установлено, что применение клея имеет ряд преимуществ: равномерное распределение напряжений по площади соединения, возможность склеивать разнородные материалы и материалы, которые нельзя соединить другими способами, например, металл и стекло, отсутствие больших температурных колебаний, отсутствие коробления получаемых деталей, клеевые конструкции имеют гораздо меньшую себестоимость, в отличие от пайки и сварки, клеевые соединения являются энергоэффективными.

На всех этапах развития человечества расширялось применение клея в производстве. Усложнялись как технологии сборки клеевых соединений так и инструмент с помощью которого осуществлялась подача клея в зону сборки. В процессе эксплуатации часто возникает проблема недостаточной прочности клеевого соединения. В связи с чем возникла задача повышения качества неподвижного клеевого соединения за счёт отработки конструкции на технологичность. Предлагаемое исследование связано с внедрением твёрдых тел в клеевой шов,

что значительно повышает величину сжимаемых напряжений, так как передача нагрузки проводится через поверхности контакта металлических деталей с внедренными твердыми телами, частично снимая нагрузку с полимерного слоя. Первоочередной задачей является необходимость выбора формы твердого тела внедряемого в клеевой шов. Возможные варианты металлических включений: конусная, цилиндрическая, сферическая форма, причем необходимо обратить внимание на то, что внедряемое тело должно давать равные напряжения на обе пластины, должно иметь минимальную площадь контакта с поверхностью. Опираясь на вышеуказанные требования, в качестве внедряемого твердого тела технологичней использовать сферические шарики подшипников с диаметром 2 мм. Данный диаметр отвечает требованиям оптимальной толщины клеевого слоя для выбранного клея, рассматриваемые шарики находятся в легкой доступности, за счет широкого применения в подшипниках. Следующим этапом является разработка технологического процесса сборки модифицированного клеевого соединения, состоящая из следующих пунктов: подготовка поверхности под склеивание, выбор и приготовление клея, нанесение клея, монтаж соединения, отверждение клея, контроль качества склеивания. Выполнение данных этапов позволило определить влияния внедряемых тел на прочность клеевого соединения, при: прямой нагрузке, нагрузке на сдвиг, нагрузке на сдвиг, при условии вдавливания твердых тел в поверхность. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: подтверждена гипотеза, что внедрение твердых тел в клеевой шов повышает величину сжимаемых напряжений. Прочность модифицированного соединения увеличилась в сравнении с обычным клеевым соединением: при нормальной нагрузке – на 62,5%, при нагрузке на сдвиг прочность практически не изменилась. Это объясняется тем, что площадь контакта образца с клеем не изменилась, так как шарики соприкасаются с поверхностью образца в точке, что не изменяет площадь склеивания, при нагрузке на сдвиг. При условии вдавливания твердых тел в поверхность собираемых деталей прочность соединения на сдвиг повысилась на 8,5%. Выбрана оптимальная форма твердого тела, которая позволяет получать стабильное увеличение прочности модифицированного клеевого соединения при сжимающих нагрузках – сферическая форма.

УДК 531. 32

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХРАЗОВОЙ КОРРЕКЦИИ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К АСТЕРОИДУ АПОФИС

Чжао Цяньци

Магистр 2 года⁽¹⁾

кафедра «Специальное машиностроение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.В. Ивашкин

доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры «Специальное машиностроение»

В настоящее время актуальны исследования астероидов, в частности, сближающихся с Землей, например, астероида Апофис. Он может иметь несколько тесных сближений с Землей в текущем столетии, даже есть вероятность его столкновения с Землей. Это приводит к задаче исследования астероида с помощью аппаратуры космического аппарата (КА). Фактическая траектория КА всегда отличается от номинальной из-за ошибок исполнения маневров и ошибок навигации. Большая длительность и продолжительность межпланетных траекторий делает их весьма чувствительными к самым небольшим ошибкам в начальном положении и в величине и

направлении начальной скорости. Это приводит к ошибкам подлета к цели и необходимости коррекции траектории КА. Поэтому актуальна задача оптимальной коррекции траектории движения КА, обеспечивающей достижение астероида Апофис с надежной точностью по координатам и времени.

В работе исследуются две номинальные орбиты движения КА от Земли к Апофису, соответствующие экспедиции к астероиду с последующим возвращением к Земле и отличающиеся продолжительностью экспедиции и временем полета до астероида (122 сут и 335 сут). Исследуются характеристики корректирующих одно- и двухимпульсных маневров, изменяющих положение КА в окрестности Апофиса. Выполнен анализ влияния вариаций начальных данных - по 1 км в координатах и по 1 м/с в компонентах скорости, и дана оценка множества возможных орбит КА за счет ошибок выведения. На основе этого в линейном приближении получено множество корректируемых параметров относительно картиной плоскости на момент встречи КА с астероидом. Выполнен расчет корректирующих импульсов скорости для нескольких моментов коррекции вдоль траектории КА. Рассмотрены два случая коррекции. Это, во-первых, случай оптимальной двухпараметрической коррекции двух координат в картинной плоскости с сообщением импульса в плоскости оптимальной коррекции. Кроме того, рассмотрена трехпараметрическая коррекция - двух координат в картинной плоскости и времени полета.

УДК 621.757

РАЗРАБОТКА ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СБОРКИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Михаил Юрьевич Шариков⁽¹⁾, Георгий Юрьевич Горбатенков⁽²⁾

Студент 5 курса^{(1),(2)}

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный технический университет (МАМИ)

Научный руководитель: И.В. Бухтеева

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Современное сборочное производство проявляет особое внимание к техническим направлениям, способствующим повышению эффективности сборки и качества выпускаемой продукции. Одним из таких направлений является внедрение многономенклатурных, быстро перенастраиваемых автоматизированных модулей, робототехнических комплексов, гибких транспортных систем, автоматизированных складов.

Гибкая сборка включает в себя использование промышленных роботов, хотя в некоторых случаях для ее осуществления достаточно установить манипуляторы, выполняющие операции типа «взять – установить» с цикловым управлением. Тип применяемого оборудования зависит от программы выпуска, размеров собираемых узлов и требуемой степени гибкости. Цель большинства технологических комплексов, устанавливающих роботизированные сборочные системы, состоит в резком сокращении расходов и времени на замену оснастки, выполняемую при переходе на другую модель собираемого изделия. Громадный потенциал в области гибкой автоматизации сборочных работ требует использования автоматических манипуляторов с программным управлением – промышленных роботов на операциях сборки узлов, трудоемкость которых в общем объеме трудовых затрат по выпуску автомобиля составляет 25...30%. Создание робототехнических сборочных комплексов существенно повышает уровень автоматизации сборочного производства.

Среди типичных изделий, получаемых путем сборки, можно назвать узлы, заменяемые новыми каждые несколько лет, а также такие изделия, как зубчатые передачи, электродвигатели и генераторы переменного тока, изготовление множества модификаций которых может потребоваться на одной и той же сборочной линии. В результате обследования предприятий сборочного производства установлено, что промышленные роботы могут быть использованы при сборке всех этих узлов. В числе основных сборочных операций, обычно осуществляемых роботами, - подъем собираемой детали в вертикальном направлении, ее горизонтальное перемещение и затем опускание в том же направлении для ввода этой детали в другую. Такие операции следует выполнять быстро и плавно. Таким образом, для сборки лучше всего подходит робот, способный непосредственно обеспечить перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Одной из тенденций развития современного роботостроения является создание специализированных конструкций промышленных роботов, не обладающих избыточностью функций и наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к выполнению конкретных технологических задач. Предпочтение при этом отдается агрегатно-модульному принципу построения, обеспечивающему минимизацию необходимого количества степеней подвижности робота для выполнения своего функционального назначения. Исполнительное устройство и устройство управления скомпонованы из модулей в соответствии с требуемыми кинематической, энергетической и управляющей схемами, а рабочий орган зафиксирован на унифицированной стыковочной поверхности манипулятора.

С целью определения требующихся характеристик манипулирующих и захватных устройств, наиболее полно отвечающих требованиям выполнения конкретных сборочных операций, на основе взаимосвязи между конструкцией собираемых изделий и классификационными признаками модульных автоматических манипуляторов, было проведено статистическое обследование сборочных узлов массой до 3,5 кг по конструктивно-технологическим признакам сборки. Статистическому обследованию групп узлов в проведенной работе подвергались те конструктивно-технологические признаки собираемых узлов, которые напрямую связаны с классификационными признаками модульных автоматических манипуляторов: масса; количество деталей или подузлов, входящих в узел; габаритные размеры; расположение деталей в узле (вдоль одной или нескольких осей, вдоль вертикальной, горизонтальной или наклонной осей).

Анализ собираемых узлов по конструктивно-технологическим признакам позволил определить общие требования к характеристикам агрегатно-модульного автоматического манипулятора. Манипуляторы для сборки валов должны иметь четыре (первый тип) и пять (второй тип) степеней подвижности, номинальную грузоподъемность – 1,6 и 3,6 кг соответственно, погрешность позиционирования деталей массой до 1,6 кг - $\pm 0,05$ мм, деталей свыше 1,6 кг - $\pm 0,1$ мм. Горизонтальный и вертикальный ход для первого типа манипулятора – 240 мм и 80 мм, для второго типа – 400 и 160 мм, усилие давления по вертикали – 15Н (первый тип) и 30 Н (второй тип).

С целью синхронизации операций для определения норм времени использовано построение циклограмм, из которых видны длительность и последовательность выполнения сборочных переходов.

Установлено, что наиболее рациональная компоновка модуля сборки вала коробки передач состоит из порталного робота, накопителя сменных схватов, прессы, четырех магазинов с поворотными столами для устанавливаемых деталей, двух фиксирующих устройств, стопорного устройства, механизма кодирования, устройства смазки.

На основе циклограммы задаются программы сборочным модулям, которые вводятся в системы автоматического управления.

Широкое применение робототехнических сборочных комплексов позволяет кардинально решить задачу повышения эффективности производства.

Литература

1. *Бухтеева И.В., Елхов П.Е.* Групповая гибкая технология сборки задних мостов грузовых автомобилей. // Известия МГТУ «МАМИ». - 2012. №14 - С. 7 -12.
2. *Аббясов В.М., Бухтеева И.В., Елхов П.Е.* Предварительный выбор и оптимизация надежности автоматического сборочного оборудования. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. - №5. С. 28 – 33.

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 620.179.118

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ОБРАЗЦОВ, ИМИТИРУЮЩИХ УЗОР ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ

Дмитрий Дмитриевич Болдасов

*Студент 3 курса**кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А. Б. Сырицкий**ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Оптические сканеры отпечатков пальцев являются одним из важных элементов получения достоверной биометрической информации, связанной с индивидуальными особенностями человека. В силу важного значения для, например, систем безопасности, эти устройства должны предоставлять информацию исключительно высокого качества. Являясь по своей сути средствами измерения, некоторые параметры сканеров подлежат периодической проверке.

Исследуемые образцы являются прототипами мер для определения разрешающей способности оптических сканеров отпечатков пальцев, действие которых основано на принципе полного внутреннего отражения света. Разрешающая способность сканера является принципиальной характеристикой прибора и подлежит проверке. Измеряется в пикс./см.

Образцы выполнены из пластика. Имитируемый профиль узора пальца (профиль меры) был выполнен при помощи технологии лазерной резки.

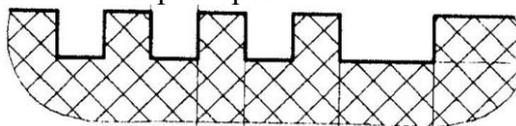


Рис. 1. Профиль меры

Так как при прижатии пальца к полю сканера происходит некоторая деформация кожных покровов, то перед разработчиками мер стоит задача выбора подходящего материала, чтобы наиболее реалистично моделировать условия работы сканера. Также разработчикам предстоит выбрать метод изготовления подходящего профиля. Проверка соответствия выбранного метода лазерной обработки заготовки ожидаемым результатам являлась предметом исследования настоящей работы.

Исследование было проведено с помощью профилометра Marsufr M300. В результате исследования были получены профилограммы поверхности и данные о наибольшей высоте поверхностей профиля (параметр R_{\max}). Было проведено по несколько измерений в различных сечениях. На основании этой информации были сделаны выводы о пригодности выбранного метода изготовления мер. На Рис. 2 представлен пример полученной профилограммы. Как из нее видно, профиль, изготовленный методом лазерной резки, не полностью соответствует чертежу, представленному на Рис. 1, так как присутствуют неравномерности обработанного профиля. В силу принципа функционирования оптических биометрических сканеров погрешность изготовления этим методом может негативно сказаться на поверяемом параметре.

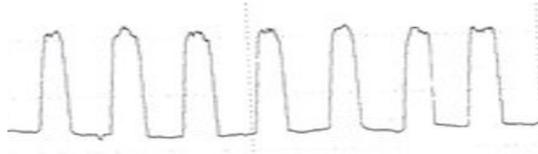


Рис. 2. Профилограмма образца (меры)

Литература

1. Биометрические сканеры отпечатка пальца. Программа и методика испытаний (БИГЕ.425700.910 ПМ), 2007.
2. ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики».

УДК 620.179.118

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА FMEA

Александр Викторович Борозенец

Студент 5 курса, магистр 1 года

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.М. Корнеева

доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Актуальность работы. В последнее время, электроусилители рулевого управления получили широкое применение в автомобилях. Как известно, в любом производственном процессе случаются дефекты, появление которых нежелательно. Для того, чтобы в дальнейшем устранить дефекты, необходимо провести их тщательный анализ.

Цель работы. Следовательно, целью работы является анализ дефектов с помощью метода FMEA. Основное применение FMEA – анализа связано с улучшением конструкции изделия (характеристик услуги) и процессов по его изготовлению и эксплуатации (предоставлению услуги)⁽¹⁾. Анализ может применяться как по отношению к вновь создаваемым изделиям (услугам) и процессам, так и по отношению к уже существующим.

Метод исследования. FMEA – анализ выполняется когда разрабатывается новое изделие, процесс, услуга, или проводится их модернизация; когда находится новое применение для существующего изделия, процесса или услуги; когда разрабатывается план контроля нового или измененного процесса. Также, FMEA может проводиться с целью планового улучшения существующих процессов, изделия или услуги, или исследования возникающих несоответствий.

В первую очередь, команда экспертов анализирует дефекты, оценивают их значимость, вероятность возникновения и вероятность обнаружения по 10-бальной шкале. Затем оценивают приоритетное число риска по следующей формуле:

$$ПЧР = S \times O \times D; \quad (1)$$

где:

ПЧР – приоритетное число рисков;

S – значимость дефекта;

O – вероятность возникновения;

D – вероятность обнаружения дефекта.

Основные результаты. По результатам испытаний электроусилителя рулевого управления от автомобиля Лада Приора, был составлен анализ одного из возможных дефектов и возможных методов их устранения.

Фрагмент протокола анализа оценок приведён в таблице 1:

Таблица 1. Протокол анализа видов причин и последствий

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Перегрев двигателя	Снижение эффективности рулевого управления	10	1. Повышено или понижено напряжение сети	7	Специальные приспособления	6	420
			2. Нарушена вентиляция двигателя	4	Визуально	7	280

В результате рассмотрения альтернативных конструкций было предложено выбрать двигатели со сниженным пусковым током за счет повышения асинхронного момента в момент пуска при оптимальном управлении возбуждения в функции угла нагрузки, а также установка независимой вентиляции⁽²⁾.

В результате были получены следующие баллы:

Таблица 2. Протокол анализа видов причин и последствий после анализа

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Перегрев двигателя	Снижение эффективности рулевого управления	10	1. Повышено или понижено напряжение сети	3	Специальные приспособления	2	60
			2. Нарушена вентиляция двигателя	2	Визуально	2	40

Выводы. Можно сделать вывод, что использование метода FMEA для анализа дефектов, даёт возможность проанализировать причины дефектов, а также найти оптимальное решение для их устранения.

Литература

- ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.
- В.М. Беляев, А.22 М. С. Высоцкий, Л. Х. Гилелес и др., Под ред. А. И. Гришкевича, М. С. Высоцкого Автомобили: Испытания: Учеб. пособие для вузов– Мн.: Выш. шк., 1991. – 187 с. ил.

УДК 621.9.08**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**Валерия Владимировна Бочкарева⁽¹⁾, Константин Равильевич Исаев⁽²⁾*Студент 2 курса⁽¹⁾, магистр 1 года⁽²⁾**кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Л.В. Федорова**доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Контроль шероховатости поверхности изделия обусловлен стремлением обеспечить высокую износостойкость деталей при эксплуатации. Именно микрогеометрия, которая влияет на площадь сопрягаемых поверхностей, оказывает существенное влияние на износостойкость - ключевую эксплуатационную характеристику любого изделия, а также на коэффициент трения, сопротивление схватыванию, усталостную прочность, коррозионную стойкость, контактную жесткость, надежность заданных посадок и многие другие показатели качества.

Электромеханическая отделочно-упрочняющая обработка улучшает шероховатость поверхности на 1-4 класса, микронеровности обретают более скругленную форму, в результате чего увеличивается фактическая площадь сопрягаемых поверхностей на 30-40% , по сравнению с обработкой шлифованием.

Электромеханическое воздействие реализуется при пропускании электрического тока большой плотности и низкого напряжения через зону контакта поверхности заготовки и инструмента. При электромеханической отделочно-упрочняющей обработке происходит высокоскоростной нагрев локального объема поверхности с одновременным ее термопластическим деформированием упрочняющим инструментом и последующее интенсивное охлаждение за счет отвода тепла вглубь материала. В результате контактного термомеханического воздействия концентрированным потоком электрической энергии на стальной поверхности заготовки образуется специфическая мартенситная структура, обладающая высокой прочностью и износостойкостью[1, 2].

Исследования выполнены на цилиндрическом образце из среднеуглеродистой стали марки 40Х. Точение образца по наружному диаметру производили на токарно-винтовом станке модели 1В62Г. На этом же станке с применением установки электромеханической обработки, державки телескопической, токоподводящих шин и инструментального ролика последовательно выполняли электромеханическую отделочно-упрочняющую обработку участков образца. Электромеханическую отделочно-упрочняющую обработку поверхностей образца производили твердосплавной пластиной ВК6 при силе тока во вторичной цепи 500...550 А, напряжении во вторичной цепи 1,8...2 В, усилии прижатия 500 Н, частоте вращения 80 об/мин, подаче 0,21 мм/об. Измерения проводили контактным способом на профилометре MarSurf PS1 с набором алмазных игл. Результаты измерений основных параметров шероховатости приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты измерения шероховатости поверхности

Способ обработки	Шероховатость, мкм			Класс шероховатости ГОСТ 2789	Твердость, HRC
	R _{max}	R _z	R _a		
Точение Т15к6	42,275	35,067	6,018	4	16..18
Поверхностное					

пластическое деформирование ВК6	9,343	8,02	1,48	6, в	24..28
Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка пластиной ВК6	8,117	7,078	1,191	7, а	54..58

По итогам измерения можем сделать вывод, что поверхностное пластическое деформирование и отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка твердосплавной пластиной ВК6 существенно влияют на изменение высотных параметров шероховатости. Поверхностная пластическая деформация снижает среднее арифметическое отклонение профиля с величины 6,018 мкм до 1,48 мкм по сравнению поверхностью, обработанной точением. Применение же отделочно-упрочняющей электромеханической обработки позволяет уменьшить среднее арифметическое отклонение профиля до 1,191 мкм.

В сравнении с методом поверхностного пластического деформирования отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка выигрывает, имея более высокое качество обработки по шероховатости и твердости поверхностного слоя. Кроме того, процесс отделочно-упрочняющей электромеханической обработки характеризуется более низкой трудоемкостью и не требует последующей механической и термической (отпуск) обработки. Достигается это за счет того, что электромеханическая обработка проводится на том же станке, что и предыдущая механическая обработка, с применением несложного оборудования и оснастки.

При отделочно-упрочняющей электромеханической обработке увеличивается твердость поверхностного (рабочего) слоя, повышается стабильность физико-механических свойств по сечениям поверхностей деталей и повышается износостойкость. К достоинствам выбранного метода обработки также можно отнести возможность его локального применения. Представляется возможным воздействовать на небольшие участки материала, вызывая упрочнение материала только на выбранном фрагменте, не затрагивая соседние участки.

Метод отделочно-упрочняющей электромеханической обработки является перспективным, так как он позволяет повысить качество поверхности, как локально, так и на большие площади. Реализация метода возможна на промышленных предприятиях общего и специального машиностроения, так и для субъектов малого и среднего предпринимательства всех отраслей экономики.

Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
2. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка для тяжелого машиностроения. РИТМ – 2012 – №2(70), с. 14-16.

УДК 621.3.084.2

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Анна Сергеевна Голвачева

Студент 4 курса ⁽¹⁾

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»

В настоящее время для измерения и контроля машиностроительных деталей широкое распространение получили различные датчики с электрическим выходным сигналом. Они делятся на генераторные (активные) и параметрические (пассивные).

В генераторных датчиках преобразование измеряемой величины осуществляется непосредственно в электрический сигнал. К ним относятся пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические, термоэлектрические.

В параметрических датчиках измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи – сопротивление, индуктивность, емкость и т.п., для питания датчика необходим источник электрической энергии. Это емкостные, индуктивные, электроконтактные, реостатные, тензорезисторные датчики.

Существуют фотоэлектрические датчики для измерения как линейных, так и угловых перемещений (размеров). Материальным носителем величины перемещения (или размера) является стеклянная или стальная шкала с нанесенным на ней периодическим растром. Стабильность положения штрихов оптической растровой шкалы на жестком материале с заданным коэффициентом линейного расширения обеспечивает высокую точность и повторяемость результатов измерения.

Принцип действия емкостных датчиков основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними. Емкостные датчики имеют долгий срок эксплуатации, высокую чувствительность, однако выходное сопротивление высоко, что усложняет схему электронного блока и его конструкцию.

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал. Принцип действия основан на изменении индуктивности обмотки начин магнитопровода в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.).

Индуктивные датчики применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров. Они датчики заняли доминирующее положение в приборах для размерного контроля, благодаря целому ряду несомненных преимуществ по сравнению с другими типами датчиков. Их выгодно отличают относительная простота конструкции, достаточно высокая мощность выходного сигнала при малых габаритных размерах и массе, высокая точность и надежность, пониженная чувствительность к изменению условий окружающей среды, сочетание хороших динамических свойств с возможностью передачи сигнала на сравнительно большое расстояние (до 10 – 15 м) с минимальными искажениями и потерями. Недостатками таких датчиков является то, что сила магнитного притяжения в простом датчике может быть значительной и измерительному стержню, перемещающему якорь, приходится её преодолевать, что вызывает необходимость увеличения измерительного усилия, а также возможна работа только на переменном токе.

Так же в последнее время появились комбинированные системы, в которых сочетаются различные физические принципы преобразования измерительных сигналов, например, пневмоиндуктивные, электроконтактно-индуктивные, пневмоэлектронные и др. В комбинированных системах используются преимущества каждого из составных элементов, исключаются их недостатки и достигается высокая чувствительность и точность измерения.

Литература

1. Панфилов В.А. Электрические измерения. – М.: Академия, 2004. – 288 с.
2. Евтихийев Н.Н. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1990 г., — 352 с.

УДК 536.491

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДРЕЙФА ТЕМПЕРАТУРЫ НА АТОМНО-СИЛОВОМ МИКРОСКОПЕ

Мария Владимировна Граб⁽¹⁾, Марк Александрович Соболев⁽²⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 3 курса⁽²⁾

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Б. Сырицкий

ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Широкий диапазон подлежащих измерению температур, разнообразие условий и объектов исследования обусловили многочисленность методов и средств измерений температуры. Стремительное развитие электроники и вычислительной техники оказалось предпосылкой для реализации устройств, которые получают информацию о регулируемом параметре или процессе – датчиков. Большое разнообразие датчиков температуры, работающих на различных физических принципах и изготовленных из различных материалов, позволяет измерять ее даже в труднодоступных местах (например, на микроскопах).

Актуальность работы состоит в том, что в микроскопе используются высокоточные манипуляторы из пьезокерамики, они имеют такой недостаток как термодрейф, который влияет на достоверность измерений. Так же на погрешность влияет дрейф геометрических размеров детали и размеров метрологической петли. Для того что бы узнать как температурные изменения повлияют на результат работы микроскопа нужно эту температуру измерить и проанализировать. Показания температуры пересчитываются по специальному алгоритму в погрешность от изменения размеров метрологической петли и размеров измеряемого объекта. Компенсировать эту погрешность можно непосредственно в процессе сканирования. Это и является целью данной работы.

На начальных этапах работы был произведен выбор температурного преобразователя. Для измерений был выбран цифровой датчик DS1624, имеющий полупроводниковый кремниевый чувствительный элемент и высокое быстродействие (1 секунда). Так же разработан измерительный канал, который будет обеспечивать взаимодействие микроскопа и датчика, и оснастка, позволяющая закрепить датчик на микроскопе.

Для того, что бы понять природу расширения при изменении температуры был проведен расчет линейного и объемного расширения глобул диоксида кремния (кварцита). Так же был произведен расчет длины метрологической петли прибора и ее расширение.

Для дальнейшей работы над проектом будет разработана и собрана схема подключения датчика к микроскопу. Осуществляться это будет с помощью инструмента для проектирования электронных устройств (Arduino). Разработанная схема дает возможность приема сигналов от цифрового датчика и взаимодействует с программным обеспечением на компьютере.

Итогом работы является анализ погрешностей, возникших при изменении температуры, влияния расширения детали и конструктивных элементов микроскопа (или метрологической петли) на достоверность результатов во время работы атомно-силового микроскопа. Для этого снимаются показания температуры. Пересчитываются по специальному алгоритму в погрешность от изменения размеров метрологической петли и размеров измеряемого объекта. Возможна реализация компенсации этой погрешности непосредственно в процессе сканирования.

Литература

1. *Кошкин А.С., Сырицкий А.Б.* Метрологическое обеспечение нанотехнологий в промышленных условиях. // Наноинженерия – ежемесячный научно-технический производственный журнал. – 2014. -4(34). -ISSN 2223-4586.
2. *Professor Richard K. L.* Fundamental Principles of Engineering Nanometrology. – Elsevier Inc, 2010. – 317 с.
3. *Миронов В.Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Российская Академия Наук Институт Физики Микроструктур, 2004. – 114 с.

УДК 536.491

ВИБРОДИАГНОСТИКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА XL 32-20-200 В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Юлия Олеговна Грабатьюк

Студент 4 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Урманова

ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

С течением времени в процессе эксплуатации в объектах начинают происходить изменения, меняющие их потребительские свойства. Объекты становятся менее надежны. Поэтому возникает серьезная необходимость непрерывного контроля протекающих в объектах внутренних процессов, характеризующих прочностные свойства и степень надежности к любому моменту времени.

Одним из наиболее известных способов такого контроля является вибродиагностика, которая позволяет определить остаточный ресурс или прогнозируемый интервал безаварийной работы.

Цель работы: разработка способа вибродиагностики насосного агрегата для нефтехимической промышленности в процессе его эксплуатации.

Задачи:

- 1) Определить измеряемые параметры вибрации, в соответствии с заданными параметрами насоса.
- 2) Провести сравнительный анализ датчиков для вибродиагностики и выбрать наиболее подходящий. Провести расчет измерительного канала.

3) Проанализировать существующие патенты на подобные методы вибродиагностики.

Сделать вывод о целесообразности использования данного вида вибродиагностики.

В работе представлен способ вибродиагностики центробежного насоса XL – 32 – 20 – 200, который предназначен для эксплуатации на предприятиях нефтяной, нефтехимической, химической промышленности.

Вибрация возникает в результате действия таких факторов, как

износ подшипников, прогиб вала, повреждение вращающихся частей и прочее. Согласно ГОСТу на данный вид насосов, тремя основными параметрами вибрации являются виброперемещение, виброскорость и виброускорение.

Виброперемещение и виброскорость удовлетворяют частотным характеристикам насоса.

Т.к. параметры вибрации измеряются в процессе эксплуатации, то возникают шумы, которые влияют на измерительную информацию, снимаемую в результате измерений. Примерами таких шумов являются сетевые помехи, колебания температур, влажность.

Если измерять только виброперемещение, шумы будут оказывать большое влияние, но если совместно с датчиками виброперемещения поставить датчики виброскорости, суммарные «полезные сигналы», снимаемые с датчиков будут значительно превышать помехи.

Т.е. полезные сигналы будут коррелировать, а шумы – нет.

Итак, для того чтобы получить достоверную и наиболее полную информацию о состоянии вала в процессе его вращения, необходимо установить по 2 датчика виброперемещения и виброскорости.

Датчики предлагается установить на вал, ближе к подшипникам качения, т.к. именно от подшипников будет наблюдаться наибольшая вибрация вала насоса.

УДК 62-2

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Екатерина Андреевна Гуськова

Бакалавр 4 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Б. И. Хасанов

аспирант кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Одной из задач внедрения системы технической диагностики на основе фазохронометрического метода для поворотно-лопастного гидроагрегата является разработка элементов крепления ее конструктивных узлов.

Поскольку гидроагрегат не является неподвижным объектом, задача крепления узлов фазохронометрической системы является сложной для реализации. Для решения этой задачи были предложены и разработаны несколько моделей кронштейна.

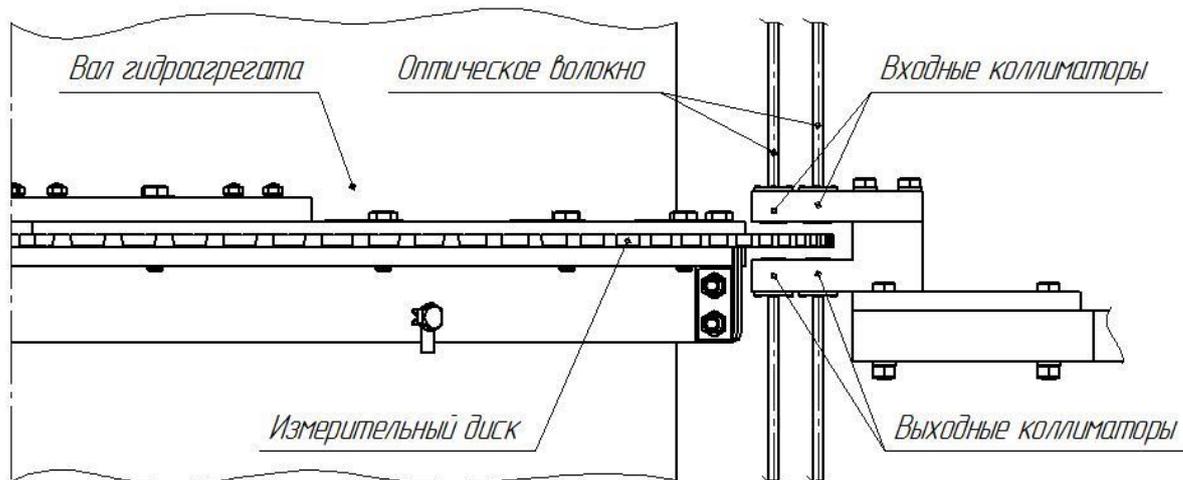


Рис. 1. Схема фазохронометрической системы

Фазохронометрическая система состоит из ротора с измерительными пазами, который монтируется на вал гидроагрегата, кронштейна на котором закреплены коллиматоры. Световое излучение, поступающее из оптоволоконного кабеля, проходит через выходной коллиматор, модулируется пазами измерительного диска и попадает во входной коллиматор. Через входной коллиматор световое излучение проходит по оптоволоконному кабелю к измерительному блоку для дальнейшей обработки сигнала.

Кронштейн фазохронометрической системы предназначен для крепления коллиматоров на определенном фиксированном расстоянии от измерительного диска. Он должен обеспечивать жесткость и виброустойчивость в продольном и поперечном направлении.

Были рассмотрены несколько вариантов конструкции, наиболее технологичные из них представляют собой кронштейны на двух и на трех опорных балках. Кронштейн на двух опорах представляет собой конструкцию, состоящую из двух балок, пластины, рейки, вилки с отверстиями под корпуса коллиматоров и четырех корпусов коллиматоров. Конструкция кронштейна на трех опорных балках отличается от предыдущей конструкции количеством и расположением опор. Здесь, две опоры располагаются на одном ребре жесткости гидроагрегата, а третья на ближайшем левом. Причем нижняя опора крепится к пластине посредством сварки, а две другие с помощью винтов, что обеспечивает большую жесткость конструкции по сравнению с конструкцией на двух опорах.



Рис. 2. Модели кронштейнов на двух и трех опорных балках

Опорные балки выполнены из труб квадратного профиля изготовленных по ГОСТ 8639-82, со стороной 40мм и толщиной стенки 5мм. Необходимая форма балки выполняется сваркой. Балки крепятся на наплавляемую пластину с одной стороны и закрепляются относительно друг друга с помощью пластины и рейки.

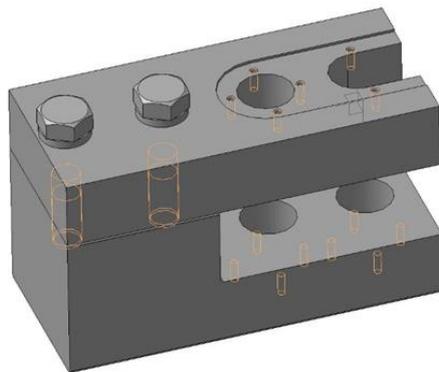


Рис. 3. Модель вилки

Для крепления корпусов коллиматоров была разработана вилка. Ее конструкция представлена в виде двух частей для обеспечения возможности регулирования положения противоположных коллиматоров относительно друг друга. Регулировка производится за счет перемещений верхней части вилки и одного из корпусов коллиматоров, расположенных на ней. В верхней и нижней части вилки имеются отверстия, предназначенные для установки корпусов коллиматоров, одно из отверстий верхней части выполнено в форме паза. корпуса коллиматоров крепятся к вилке с помощью винтов. Нижняя часть вилки приваривается к пластине, а верхняя часть вилки крепится к нижней посредством винтового соединения.

Поскольку конструкция на трех опорных балках обеспечивает большую жесткость конструкции и исключает перекося в вертикальном направлении, было принято решение использовать ее.

Литература

1. *Полушкин К.П.* Монтаж гидроагрегатов / К.П. Полушкин. – Ленинградское отделение: Энергия, 1971 – 527 с.
2. *Ряховский О.А.* Детали машин: Учебник для вузов Л.А. Андриенко, Б.А.Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 520 с.

УДК 62-2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ АИР56В2У3

Кирилл Сергеевич Ермаков

Студент 4 курса

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 электродвигателей свидетельствует о большом количестве отказов, происходящих по причине аварийных ситуаций. Выход из строя электродвигателя наносит большой ущерб. Дополнительно к убыткам добавляется снижение электро- и пожаробезопасности, связанное с возможными короткими замыканиями которые могут присутствовать в обмотке статора или ротора поврежденного электродвигателя.

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]

В данной работе был исследован двигатель АИР56В2У3 с данными параметрами.

Таблица 1

Характеристика	Значение
P_H , Вт	250
I_H^* , А	0,70
nБ об/мин	2730
M_H , Н*м	0,87
КПД, %	69
Cosf	0,86

В ходе работы рассмотрены способы решения существующих проблем. Проанализированы различные методы диагностики, просмотрены и изучены существующие системы диагностирования асинхронных электродвигателей.[2] По причине того, что электрические параметры в работе являются первостепенными были разработаны схемы для контроля электрических параметров. Были проанализированы различные существующие типы датчиков, измерительных устройств для данной работы. В дальнейшем планируется разработать систему комплексного диагностирования для всех типов электродвигателей. Комплексная система будет включать в себя диагностирование состояния электродвигателя в режиме реального времени, что предотвратит случаи внезапных аварий.[3] Будут контролироваться механические параметры электродвигателей

Итогом работы является исследование причин отказов механизма, разработка стенда для измерения электрических параметров. Оценка состояния данного электродвигателя по сравнению с идеальными техническими характеристиками.

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- 2013.- ISSN 2224-9923.
2. Пономарев В.А., Суворов И.Ф. Комплексный метод диагностики асинхронных электродвигателей на основе использования искусственных нейронных сетей.// - Читинский государственный университет.-2007
3. С.В. Алёшин, В.А. Синопальников, Е.А. Соколов, В.В. Асинхронный трехфазный двигатель привода главного движения станка как датчик контроля состояния инструмента.// Вестник МГТУ "Станкин".2010 .-№13

УДК 53.086

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЛЕЗВИЯ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Анастасия Алексеевна Крансуцкая⁽¹⁾, Дарья Дмитриевна Ружицкая⁽²⁾

Студент 3 курса^{(1),(2)}

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.В. Тумакова

ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Одним из основных требований к деталям машиностроения является точность их изготовления, которая обеспечит необходимую надежность и долговечность их работы. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения долговечности режущей кромки инструментов, которая в значительной степени определяет точность и качество получаемых деталей. Исследование направлено на изучение лезвийной поверхности до воздействия с влияющими факторами (нагрев и взаимодействие с более мягким материалом) и после.

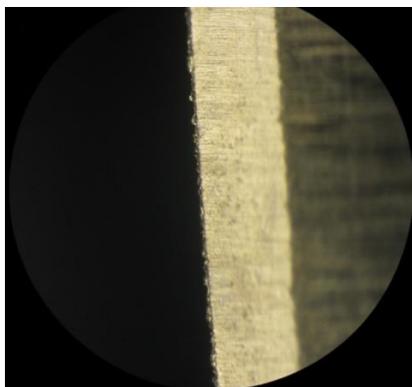


Рис. 1. Исследуемая часть лезвия под микроскопом

Объект исследования – лезвие из конструкционной стали толщиной 0,09 мм. Проводилось измерение высотных параметров шероховатости поверхности, как наиболее наглядных, на ACM Solver P47. Получены 2D и 3D изображения исследуемых образцов.

Атомно-силовая микроскопия – вид зондовой микроскопии, в основе которого лежит обменное взаимодействие атомов зонда и исследуемого образца (в данном случае режущей кромки лезвия). В данной работе исследование проводилось в полуконтактном режиме.

Наглядное трёхмерное изображение поверхности получается после соответствующей математической обработки цифровой информации, в качестве которой выступают двумерные массивы целых чисел, например, отклонения кантилевера.

Итогом работы является анализ топологии поверхности исследуемых образцов.

Литература

1. Герчиков А.Б. Как бритва // Химия и жизнь. 1982. №11. С.87 - 93.
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород. 2004. 114 с.
3. Поркаро А., Скробис К., Свансон Р., Лиу Э. Цветные бритвенные лезвия: пат. 2354540. Российская Федерация. 2009. Бюл. №13. С. 6-13.
4. ISO 25178. Geometric Product Specification – Surface texture: areal 2012
5. ГОСТ 25142-82 Шероховатость поверхности. Термины и определения.

УДК 53.086

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИН ВАЛОПРОВОДОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ксения Михайловна Куропаткина

Студент 4 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Кошкин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Одними из основных элементов машин являются валы. Вал – деталь машины, предназначенная для передачи крутящего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на нём деталей и опор.

В настоящее время существует множество методов неразрушающего контроля валопроводов, но у них есть один существенный недостаток, все эти методы нельзя применять к вращающемуся валу. Поэтому важен вопрос о создании системы определения трещин валопроводов в процессе их эксплуатации.

Цель работы – разработка измерительной системы определения трещин валопроводов в процессе эксплуатации.

Задачи:

1. Разработка метода неразрушающего контроля для определения дефектов во вращающемся валопроводе.
2. Проектирование стенда для реализации метода неразрушающего контроля.
3. Оценка параметров дефектов, которые возможно обнаружить данным методом.

В начале работы был проведен анализ методов неразрушающего контроля валов. Рассмотрены следующие методы: визуально-оптический, капиллярный, магнитопорошковый, вихретоковый, ультразвуковой и акустико-эмиссионный. В каждом методе выявлены достоинства и недостатки, а также определены минимальные размеры несплошностей и возможная глубина их проникновения в тело объекта.

Рассмотрев и проанализировав все выше изложенные методы неразрушающего контроля, мы видим, что их можно использовать только при неподвижном состоянии вала. Каким же образом можно осуществить контроль вращающегося вала? Для решения этого вопроса в ходе работы был разработан новый метод неразрушающего контроля – высокочастотный. Одним из важных преимуществ и отличий данного метода является определение дефектов движущихся частей (вращающихся валопроводов) в процессе эксплуатации.

Идея метода заключается в том, что на вращающийся вал подается ток высокой частоты бесконтактным способом, далее при помощи токовых клещей с датчиком Холла, расположенных на одинаковом расстоянии по всей длине вала, происходит съем информации, а также ее анализ.

Спроектирована структурная схема и стенд для реализации высокочастотного метода контроля.

Проведен расчет размеров трещин, которые могут быть обнаружены во вращающемся валопроводе. Минимально возможный размер трещины, имеющей в поперечном сечении треугольник, которую можно определить, равен 15 мм. Размер трещины, имеющей в поперечном сечении прямоугольник, равен 11 мм. Размеры дефектов можно уменьшить, путем применения оборудования более высокого класса точности, стремящегося к эталону.

Проведен расчет глубины скин-слоя при токах высокой частоты в диапазоне от 100 КГц до 100 МГц. По глубине скин-слоя возможно определить внутренние дефекты материала. Минимальная глубина при частоте 100 МГц равна 18 мкм.

Таким образом, совокупность этих расчетов дает возможность определить зарождение трещин, несплошностей на поверхности объекта исследования.

УДК 620.178.156

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛОВ И ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Светлана Романовна Орлова

Студент 6 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Кошкин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Непрерывное уменьшение размеров компонентов области электроники, приборостроения и других отраслей промышленности, а также разработка и активное внедрение различных износостойких упрочняющих покрытий сделало необходимым разработку новых методов для определения физико-механических свойств материалов. Одним из таких методов является метод наноиндентирования, который позволяет решать целый спектр задач: определение твердости, модуля Юнга, исследование анизотропии механических свойств, исследование трещиностойкости и многие другие. Под инструментальным индентированием, согласно ГОСТ Р 8.748-2011, понимается процесс, управляемый специальной испытательной установкой, при котором происходит непрерывное внедрение наконечника с известной геометрией в испытуемый образец под действием плавно возрастающей нагрузки с последующим ее снятием и регистрацией зависимости перемещения наконечника от нагрузки. Такая установка получила название «наноиндентор» или «нанотвердомер». Нанотвердометрия отличается от более привычных макро- и микро- в основном характерными размерами области испытаний и носит достаточно условный характер, и разделение между диапазонами происходит таким образом: $2Н \leq F \leq 30кН$ – макродиапазон, $2Н > F$, $h > 0,2$ мкм – микродиапазон, $h \leq 0,2$ мкм – нанодиапазон, где P – сила вдавливания, h – глубина индентирования.

Активное развитие наноиндентирования сделало возможным уменьшение размеров исследуемой области до единиц нанометров, однако, сложное напряженно-деформированное состояние под индентором, которое сильно зависит от геометрии наконечника, сделало задачу извлечения количественных характеристик объекта весьма нетривиальной. В различных размерных диапазонах потребовались разные подходы к интерпретации первичных данных, и задача построения обобщенной теории твердости через все масштабные уровни до сих пор далека от разрешения.[1]

Наноиндентирование можно назвать универсальным методом исследования механических свойств материалов, но, безусловно, данный метод не лишен недостатков и сложностей: на результаты измерений влияет огромное количество факторов, и источником неопределенности может быть не только измерительная техника, но и методика расчетов или сам образец. При этом к последнему предъявляются достаточно жесткие требования: например, шероховатость поверхности не должна превышать 5-10% от глубины индентирования[2], для тонких пленок необходимо исключить влияние подложки, для этого глубина индентирования

не должна превышать 10% от толщины образца[2], хотя ряд исследователей и полагают, что такие ограничения физически не обоснованы [3], из вышеперечисленного можно сделать вывод, что далеко не все образцы в реальном производстве можно с легкостью исследовать наноиндентированием. А поскольку найти альтернативу данному методу в пределах наноразмерной шкалы весьма сложно, необходимо искать пути для реализации метода в условиях производства.

В данной работе приводятся результаты исследования ряда материалов и покрытий при помощи метода наноиндентирования. Исследования проводились на наноинденторе Hysitron TI 750Ui. На рисунках 1 и 2 представлены F-h диаграммы кварца, причем на рисунке 1 – представлена F-h диаграмма плавленного кварца, имеющего толщину 3 мм, а на рисунке 2 представлена F-h диаграмма кварцевой пластины, толщина которой не превышает 0,1 мм.

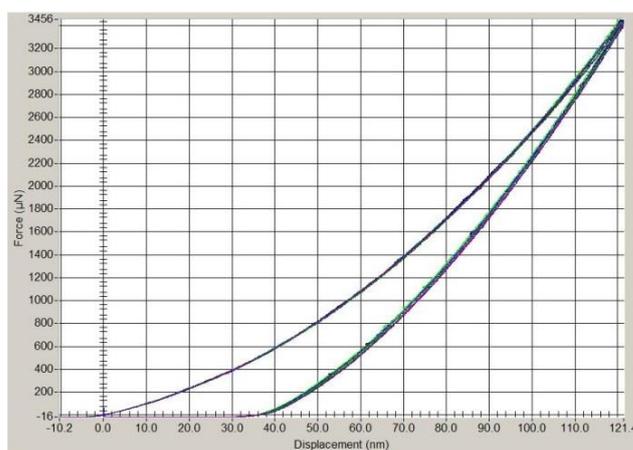


Рис. 1. F-h диаграмма плавленного кварца толщиной 3 мм

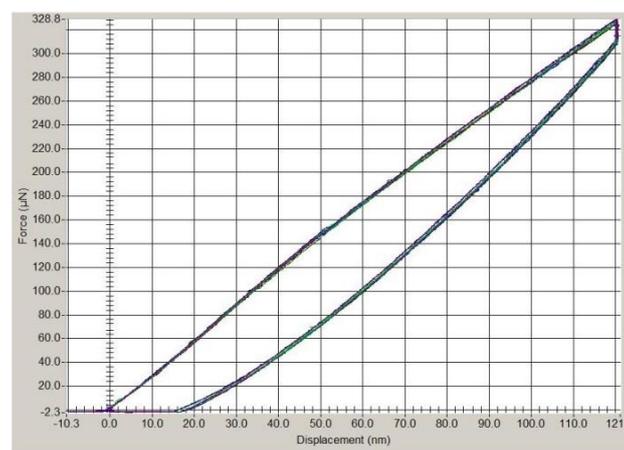


Рис. 2. F-h диаграмма кварцевой пластины толщиной 0,1 мм

Не смотря на то, что материалы образцов можно назвать идентичными, диаграммы сильно отличаются по внешнему виду и, как следствие, различаются и количественные значения механических свойств. Диаграмма на рисунке 2 имеет нехарактерный для кварца вид: при удержании глубины индентирования, которая в обоих случаях составляла 120 нм, прикладываемая сила уменьшается, что говорит о релаксации материала, которая несвойственна кварцу. Такое искажение диаграммы свидетельствует о наличии влияющих факторов, которые вносят погрешность в результаты измерений. При многократном повторении эксперимента, диаграммы примерно в половине случаев имели вид, схожий с рисунком 2. При этом многократные исследования образца с толщиной 5 мм показали, что вид диаграммы остается идентичным. Оба образца крепились к подложке стандартным образом: при помощи цианоакрилата. Такой метод фиксирования образцов рекомендован производителями оборудования и предполагается, что он подходит для всех видов образцов. Но при затвердевании цианоакрилата на его поверхности могут образовываться пустоты незначительных размеров, и материал при индентировании над такими пустотами будет несколько прогибаться. В случае с кварцевой пластиной, толщина которой не превышает 0,1 мм погрешность, вносимая таким локальным прогибом в результаты измерений, оказалась значительной. Решением такой проблемы стало совместное применение микроскопических методов исследования поверхности с целью выявления областей, в которых цианоакрилат имеет неравномерную структуру и метода наноиндентирования.

В докладе, помимо исследования кварца, будут приведены примеры сложностей, возникающих при исследовании упрочняющих покрытий методом наноиндентирования, а также предложены подходы по их разрешению.

Литература

1. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.
2. Fisher-Cripps A.C. Nanoindentation. NY.:Springer, 2002. 198 p.
3. J.L. Hay, M.E. O'Hern, and W.C. Oliver, "The importance of contact radius for substrate-independent property measurement of thin films," Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 522, 1998, pp.27–32.
4. ГОСТ Р 8.748 – 2011 Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании, Москва, Стандартинформ, 2013.

УДК 53.088.7

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДЛИНОМЕРА ULM 02-600

Екатерина Алексеевна Перикова

Студент 4 курса,

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Кошкин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Объектом исследования является горизонтальный длиномер ULM 02-600, предназначенный для абсолютных и относительных измерений наружных и внутренних линейных размеров элементов деталей.

Цель работы – достижение высокой точности измерений на длиномере ULM 02-600 в обычных условиях.

В начале работы был проведен анализ технических характеристик различных длиномеров. Выявляя преимущества у аналогов, я рассмотрела некоторые из них относительно исследуемого длиномера ULM 02-600. В результате были предложены следующие способы повышения точности:

Таблица 1. Способы повышения точности измерений

<i>Повышение точности измерений на длиномере ULM 02-600</i>	
<i>Погрешности</i>	<i>Способы повышения точности</i>
<i>1 Инструментальная</i>	<i>Переход к автоматическому режиму работы: - Установка современных линейных датчиков - Установка шаговых двигателей (плавность перемещения) - Контроль измерительного усилия</i>
<i>2 Субъективная</i>	<i>Применение цифровых шкал отсчета</i>
<i>3 Дополнительная</i>	<i>- Использование активных виброизоляционных платформ - Использование системы температурной компенсации</i>

В процессе данной работы удалось подробно разобрать несколько из вышеперечисленных способов повышения точности, а именно был проведен сравнительный анализ фотоэлектрических датчиков линейного перемещения и выбраны некоторые из них для дальнейшего изучения и установки на длиномер; для уменьшения влияния температуры была предложена система термокомпенсации, решающая проблемы несоответствия условий в лаборатории и условий, требуемых для корректного измерения; для снижения вибрации было подобрано виброизоляционное рабочее место.

В работе также представлены структурная схема, схема электрических соединений, конструкция модернизированного длиномера, детализировки вспомогательных деталей для установки датчика.

Итогом работы является анализ погрешностей установленных датчиков перемещения и температуры, системы виброизоляции, нахождение полной суммарной погрешности при измерении стальной детали.

Литература

1. Бояренков Д.В., Минченко П.А., Тяжков Е.Н. Методические указания «Горизонтальный длиномер ULM 02-600». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014
2. Каталоги оборудования фирм Precimar ULM, Taylor Hobson, Trimos, СКБ ИС и др.

УДК 53.086

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ ПРИ ПОМОЩИ ЛАЗЕРНОГО МИКРОМЕТРА

Дмитрий Александрович Поляков

Студент 6 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский Государственный Технический Университет им Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Кошкин

кандидат технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

1. Система предназначена для повышения уровня точности изготовления деталей на токарных станках, не оснащённых системой ЧПУ.

2. Система позволяет повысить точность измерений, затратив материальных средств в разы меньше, чем стоимость станков с ЧПУ. Стоимость установки данной системы на находящиеся в эксплуатации токарные станки - 300-400 тыс. р. Стоимость покупки нового станка с ЧПУ - от 3,5 млн. р.

3. Измерения с помощью системы оперативного контроля с лазерным микрометром проводятся бесконтактным способом, что позволяет избежать динамических погрешностей, возникающих при существующих контактных способах измерений.

4. Было проведено патентное исследование, в результате которого было выявлено, что аналогов предлагаемому способу контроля на токарных станках без ЧПУ не существует. Аналогом же все системы является система активного контроля на токарных станках с ЧПУ. Аналогом системы на станках не токарного типа является «Устройство управления зубошлифовальным станком» (патент RU 137404 U1) [2].

5. Оптические микрометры предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, размеров (диаметр, толщина, ширина, зазоры) технологических объектов; измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов.

6. В качестве опоры для прибора на токарном станке автором была спроектирована рама-подставка.

7. Контроль положения микрометра проводят по эталонному образцу (детали), закреплённому в центрах (т. о. погрешность базирования $\varepsilon_{\text{баз}} = 0$).

8. Рассчитанная суммарная погрешность измерений с помощью системы оперативного контроля с лазерным микрометром обеспечивает необходимую точность измерений, чтобы быть рассмотренной в качестве альтернативы существующим методам контроля на токарных станках.

9. Была проведена метрологическая проверка геометрической точности станка ТВ-4 с целью установления возможности размещения на нём системы оперативного контроля с лазерным микрометром. Проверка проводилась в соответствии со «Схемой проверки геометрической точности станка» [4].

Вывод

Была разработана система контроля размеров деталей на станках токарной группы при помощи лазерного микрометра. Была рассчитана погрешность разработанной системы. Была проведена проверка точности станка ТВ-4 с целью установления возможности размещения на нём системы оперативного контроля с лазерным микрометром. В результате проверки было установлено, что технологические параметры шпинделя соответствуют установленным требованиям, технологические параметры трёхкулачкового патрона не соответствуют

требованиям. Необходима либо регулировка кулачков, либо расточка кулачков, либо замена всего патрона.

В целом уровень точности станка соответствует уровню точности системы оперативного контроля с лазерным микрометром. Возможна её дальнейшая установка на данный станок.

Литература

1. Сурков И. В., Суркова А. И., Бортовой В. М. Системы автоматизированного контроля деталей и диагностики состояния режущих инструментов для станков с ЧПУ. Программное обеспечение циклов измерения и технологического управления // Режим доступа: http://www.toolmaker.ru/public/65_years/pdf/14.pdf (дата обращения: 24.12.2014 г.)
2. Кутин А. А., Рязанов Д. Ю., Рязанов Д. Ю., Седых М. И.; Пат. RU 137404 U1 Российская Федерация, МПК7 G05B 13/02, Устройство управления зубошлифовальным станком. Заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. – № 2013106678/08; заявл. 15.02.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4 (II ч.). – 2 с.
3. Аверьянов И. Н., Болотеин А. Н., Прокофьев М. А. Проектирование и расчёт станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах. Рыбинск. 2010. 220 с.
4. А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес Диагностика технологических систем. Часть 1. Томск. 2013. 120 с.

УДК 658.6

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ И ОЦЕНКА ДОСТИГНУТОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА

Дарья Валерьевна Шуваткина

Студентка 4 курса

Кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московской государственной технической университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.М. Корнеева

Доктор наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Метод FMEA появился в США и был использован впервые при разработке проекта космического корабля "Аполлон", а затем в ядерной промышленности и в медицинской области. Через несколько лет метод получил дальнейшее развитие под названием FMEA и нашел применение также в автомобильной и других отраслях промышленного производства США, а затем в Европе и Японии. В некоторых областях промышленного производства метод стал основой обеспечения качества.

Метод FMEA - это систематизированная совокупность мероприятий, целью которых является обнаружение места возможного нахождения потенциальных отказов продукции и процесса, определение действий, которые могут устранить или уменьшить вероятность их возникновения, и документирование всех этих мероприятий.

Метод FMEA первоначально применялся обычно только при анализе конструкций или процессов (классические методы FMEA конструкции и FMEA процесса). Между тем, метод FMEA развивался далее. Сегодня речь идет уже о FMEA комплексной системы.

Работа по методу FMEA осуществляется в следующей последовательности:

- 1) Формируются составы межфункциональных FMEA-команд.

- 2) Рассматриваются предложенные проекты конструкции и (или) технологического процесса.
- 3) Определяются виды потенциальных дефектов, их последствия и причины.
- 4) Для каждого последствия дефекта определяется балл значимости S.
- 5) Для каждого дефекта определяются потенциальные причины.
- 6) Для каждой потенциальной причины дефекта определяется балл возникновения O.
- 7) Для данного дефекта и каждой отдельной причины определяется балл обнаружения D.
- 8) Вычисляется приоритетное число риска ПЧР.
- 9) Для каждого дефекта/причины с $ПЧР > ПЧР_{гр}$ команда должна предпринимать усилия к снижению этого расчетного показателя посредством доработки конструкции и (или) производственного процесса.
- 10) В конце работы FMEA-команды составляется протокол.

В соответствии с методикой, каждый дефект и причину дефекта оценивают экспертно по трем критериям:

- значимость;
- вероятность возникновения;
- вероятность обнаружения.

До начала работы FMEA-команды таблицы должны быть пересмотрены и изложены с учетом специфики данного предприятия. Возможна разработка нескольких таблиц для различных видов конструкций и производственных процессов.

В настоящее время метод FMEA применяется как в технических, так и других отраслях. При этом он может быть продуктивно использован при анализе закупок, организации работы, программном обеспечении и в других случаях.

Литература

1. ГОСТ 27.310 – 95 Анализ видов, последствий и критичности отказов
2. ГОСТ Р 51814.2 – 2001 Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов
3. *Алексеев В.А.* Работать с FMEA интересно// Методы менеджмента качества.- 2003.- №7.- с.53

Секция V

Литейные технологии

Председатель:

Семенов Вячеслав Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-5

Ученый секретарь:

Савохина Ольга Михайловна

ассистент кафедры МТ-5

УДК 621.74.045

**СОКРАЩЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ОБОЛОЧЕК ПРИ ЛИТЬЕ ПО
ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

Динара Аскарровна Алиева

*Студент 6 курса**кафедра «Литейные технологии»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.А. Мандрик**кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Литье по выплавляемым моделям – многооперационный процесс. Самая длительная операция – это сушка многослойной оболочки. Есть ограничения по температуре сушки, связанные с температурными изменениями в модели.

Было сделано предположение, что до окончания испарения растворителя можно превысить допустимую температуру, т.е. в начале инфракрасной сушки провести тепловой удар (рис. 1). В литейной лаборатории кафедры МТ5 были проведены эксперименты, которые показали, что применение теплового удара сокращает время сушки на 10% без нарушения целостности модели.

Температурный режим в сушильной камере условно представлен на рис. 1. в виде диаграммы. Здесь n – число модулей в установке, $T_{m.уд.}$ – температура термического удара, температура в первом модуле; $T_{m.уст.}$ – температура теплоустойчивости модельного состава; T – температура в модулях с 2 по n , которая должна быть ниже $T_{m.уст.}$; t_u – время цикла сушки одного слоя в установке; $t_{m.уд.}$ – время теплового удара.

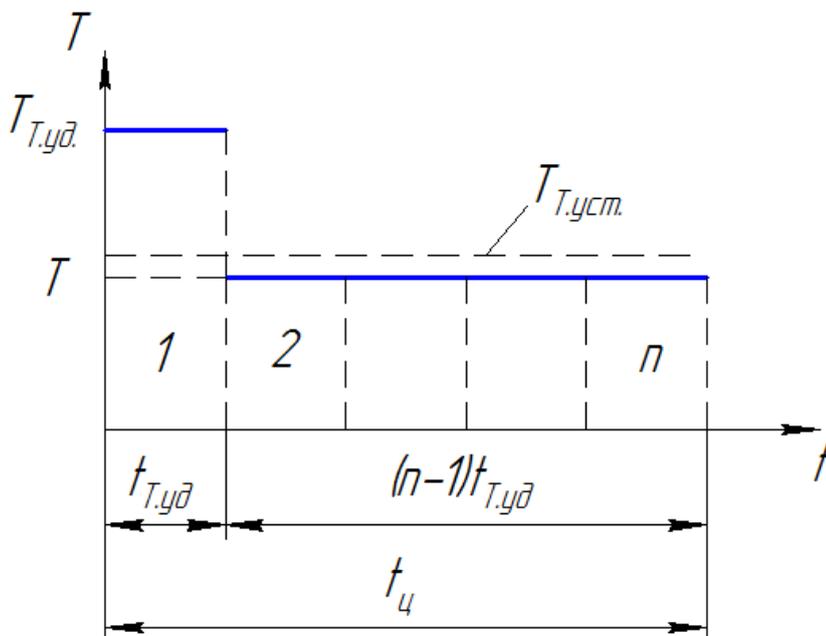


Рис. 1. Диаграмма температурного режима в сушильной камере

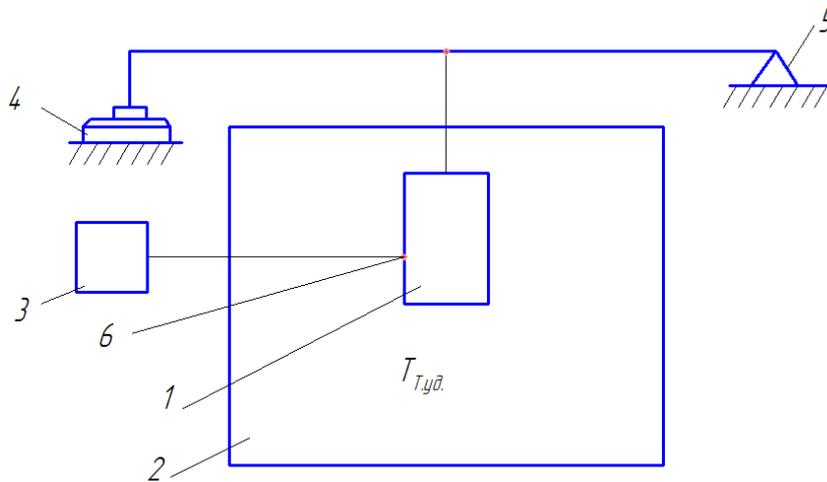


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Здесь 1 – образец; 2 – печь ИК сушики; 3 – самописец; 4 – весы электронные; 5 – опора; 6 – термопара.

Литература

1. *Репях С.И.* Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
2. *Озеров В.А., Шкленник Я.И.* Инженерная монография «Литье по выплавляемым моделям». – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

УДК 621.74.06

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДОЖИДКОЙ СУСПЕНЗИИ

Айнура Аскарровна Алиева

Студент 6 курса

кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мандрик

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Для повышения прочности и плотности отливок при литье под давлением применяют заливку расплава, находящегося в твердожидком состоянии (реолитье). Применение реотехнологий сегодня становится актуально при производстве комплектующих автомобиля, требующих высоких показателей по качеству – это детали, отвечающие за безопасность (детали двигателя, шасси). Приготовление твердожидкой суспензии является наиболее сложной задачей в этом процессе. Для этого была разработана установка, позволяющая получить твердожидкий расплав путем электромагнитного перемешивания и одновременного охлаждения расплава. Установка позволяет подготовить дозу для заливки в течение одного цикла работы машины литья под давлением, что обеспечивает непрерывность работы последней.

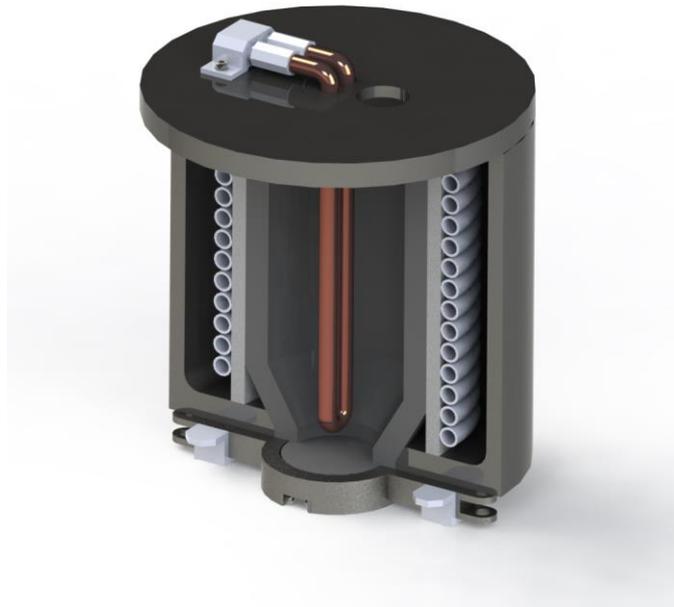


Рис. 1. 3D модель установки для приготовления суспензии

Литература

1. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии : учеб. пособие – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 223 с.
2. Kirkwood D.H., Suery M., Kapranos P., Atkinson H.V., Young K.P. Semi-solid Processing of Alloys; Publ. Springer: Berlin, Helderberg, 2010.

УДК 62-133.2

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ «ОСНОВАНИЕ» ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА В ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ

Артём Вадимович Буров

Студент 4 курса

кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мандрик

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Титановое литье является прогрессивным методом получения сложных тонкостенных отливок для авиационно-космической и других отраслей промышленности.

В данной статье речь пойдет о технологии изготовления сложных фасонных отливок из титановых сплавов методом центробежного литья по выплавляемым моделям.

Применение рациональных методов построения литниковой системы и режимов заливки позволяет значительно упростить задачу, ускорить и удешевить процесс освоения отливок.

Вследствие специфических свойств титановых сплавов и применяемых формовочных материалов использование общепринятых методик расчета формирования отливок может привести к весьма большим погрешностям.

В основе процесса формирования отливок из титановых сплавов лежат их физические, химические и литейные свойства, а так же теплофизические характеристики материалов литейных форм.

Высокая температура металла и большая теплоаккумулирующая способность металлических и графитовых холодных форм приводят к быстрому затвердеванию отливок. В связи с этим при заполнении формы применяются высокие скорости движения металла, обеспечиваемые центробежной заливкой.

Большая химическая активность титановых сплавов в жидком состоянии и их чувствительность к загрязнениям требуют применения специальных условий литья:

- проведение плавки, заливки металла в вакууме, охлаждение отливок в вакууме или в среде нейтральных газов;
- применение химически инертных и высокоогнеупорных литейных форм
- создание дополнительного давления в металле при затвердевании отливки.

Низкая теплопроводность титановых сплавов и высокая интенсивность охлаждения потока металла в литейной форме приводит к образованию характерных дефектов типа неспаев.

Так как получение годной отливки является главной задачей, существует ряд мер, которые должен принять технолог:

1. Разработать такую литниковую систему, чтобы возможность получения некачественной отливки стремилась к нулю;
2. Подобрать наиболее рациональные параметры работы установки;
3. Использовать такие материалы форм, которые позволят увеличить качество изделия

Целью работы являлось разработать несколько вариантов литниковых систем и смоделировать процесс заливки в программе Flow3D. По полученным данным сделать вывод о рациональности той или иной системы подвода жидкого металла. Изложить достоинства и недостатки каждого из вариантов. Полученные результаты представить в виде коротких фильмов с покадровым заполнением литейной формы.

В итоге рассмотрено четыре варианта литниковой системы, выбрана наиболее удачная конструкция с точки зрения получения годной отливки. Принято решения использовать дополнительные питающие элементы (прибыли) из-за возможных дефектов.

УДК 621.744.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СМЕСИ ФОРМОВОЧНЫМИ АВТОМАТАМИ С ПРЕССОВАНИЕМ МОДЕЛЬНОЙ ПЛИТОЙ И УПРАВЛЕНИЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ВКЛЮЧЕНИЯ ПЛУНЖЕРОВ

Никита Александрович Егоров

Студент 6-го курса

Кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Беликов

кандидат технических наук, профессор, преподаватель кафедры «Литейные технологии»

Данный анализ связан с тем, что в последнее время практически все фирмы, поставляющие на мировой рынок формовочные автоматы, представили варианты машин с применением уплотнения смеси нижним прессованием (прессованием модельной плитой) в

дополнение к традиционно ими используемым процессам уплотнения прессованием многоплунжерной головкой.

В статье показано, что управление последовательностью работы плунжеров существенно повышает качество формы. Новые варианты технологии позволяют более качественно уплотнять смесь для невысоких и плоских моделей, которые составляют значительную часть номенклатуры литых заготовок. Были определены параметры процесса уплотнения модельной плитой и разработаны рекомендации по последовательности включения в рабочий процесс плунжеров. Разработана структурная схема многоэтапного процесса прессования, рекомендуемая для создания нового формовочного автомата. В статье экспериментально изучены результаты уплотнения смеси в форме.

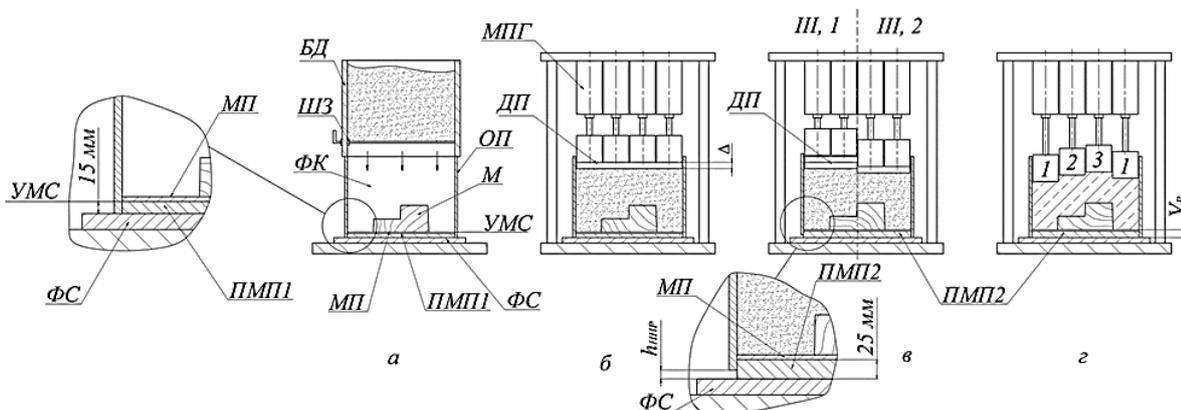


Рис. 1. Последовательность выполнения этапов комплексного процесса уплотнения смеси в формовочной камере

Литература

1. Интернет-сайт фирмы HWS-Sinto. Режим доступа: <http://wagner-sinto.de> (дата обращения: 10.04.2014).
2. Интернет-сайт фирмы SAVELLI S.p.A. Режим доступа: <http://savelli.it> (дата обращения: 10.04.2014).
3. Интернет-сайт фирмы KÜNKEL-WAGNER. Режим доступа: <http://kuenkel-wagner.com> (дата обращения: 10.04.2014).
4. Интернет сайт фирмы ЛИТАФОРМ. Режим доступа: <http://litaform.ru> (дата обращения: 01.04.2014).
5. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов, Издание 2-е. – М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1977. – 510 с.

УДК 621.74.019

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОБРАЗОВАНИЯ УСАДОЧНОЙ ПОРИСТОСТИ В ОТЛИВКАХ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Кирилл Андреевич Кашуба⁽¹⁾, Евгения Алексеевна Парий⁽²⁾

Студент 3 курса(1,2)

Кафедра "Литейные технологии"

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.С. Ларичев

Ассистент кафедры "Литейные технологии"

При разработке технологии изготовления отливки перед технологом встает задача устранения или уменьшения усадочных дефектов при минимальном количестве элементов питания. Наиболее используемым методом повышения плотности отливки является установка прибылей для компенсации усадки. В отечественной и зарубежной технической литературе приводится большое количество методик расчета геометрии прибылей и зоны их действия. Также в помощь технологу разработан ряд пакетов программ математического моделирования литейных процессов, позволяющие определить области расположения усадочной пористости. Расчет зон вероятного расположения усадочной пористости при моделировании основан на использовании различных критериев образования пористости.

В рамках работы по исследованию критериев образования пористости были проведены численные и натурный эксперимент. Для этого была разработана геометрия пробы, в которой были учтены зона питания прибыли (ЗПП) и торца (ЗПТ), значения которых взяты из технической литературы. По полученным данным было проведено компьютерное моделирование процесса затвердевания отливки в пакетах программ ProCAST и Flow3D и определены места вероятного образования усадочной пористости. Индикаторами образования пористости служили результаты расчетов "тепловых мешков", критическое значение критерия Нияма и разработанный на кафедре "Литейные технологии" критерий K_1 .

После проведения численных экспериментов была выполнена опытная заливка рассмотренной пробы методом литья песчанно-глинистые формы. Оценка ЗПП и ЗПТ выполнена методом рентгеноскопического контроля.

Сопоставление результатов проведенных экспериментов позволило оценить надежность прогнозирования образования пористости и выявить критерий, наиболее точно указавший места появления усадочной пористости.

Литература

1. *Коротченко А.Ю.* Критерии образования усадочной пористости в отливках. // Литейщик России. 2010. № 4. С. 43-47.
2. *Технология литейного производства: Литье в песчаные формы: Учебник для студ. учеб. заведений / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов и др.; Под ред. А.П. Трухова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 528 с.*

УДК 669.131.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОЛУЧЕНИЕ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Нурлан Фейзуллаевич Нуралиев

Студент 3 курса

кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Ю. Коротченко

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Литейные технологии»

На специальной установке проведены исследования по изучению влияния технологических параметров на получение трубных заготовок из высокопрочного чугуна. В качестве переменных параметров были выбраны диаметр и количество литников, и температура заливки, т.к. они определяют качество отливки (плотность металла, отсутствие дефектов).

При проведении экспериментов чугун плавил на одинаковой шихте в индукционной печи. Температура заливки менялась от 1300 до 1450°C а суммарное сечение питателей от 3,01 до 5,40 см².

Запись кривых охлаждения проводили на четырехканальном приборе «Термодат-17М». Записанные в архив температурные данные переносились в компьютер для последующей обработки. Прибор регистрирует измеряемые характеристики в реальном времени с указанием по оси абсцисс год, месяц, день, час, мин., сек. По записанным таким образом, данным можно с большой точностью определить продолжительность заливки и кристаллизации опытных трубных отливок. Одновременно с записью кривых охлаждения.

Изменение температуры в форме и в теле отливки проводили на четырех горизонтах отливки. Первый горизонт на расстоянии 100 мм от верха отливки. Второй и третий на расстоянии 50 и 100 мм соответственно от первого. Четвертый, самый нижний, на расстоянии 150 мм от третьего.

Результаты эксперимента.

Температура эвтектической кристаллизации чугуна в трубной заготовке фиксировалась на уровне 850...900°C вместо 1120...1130С, т.е. с очень большим «переохлаждением» 280...230°C. Такое явление, по-видимому, вполне возможно, если учесть, что толщина стенки опытной заготовки трубы всего 15 мм и металл кристаллизуется очень быстро от стенки холодного массивного металлического кокиля.

Анализируя полученные кривые охлаждения можно с большой точностью определить продолжительность всех этапов охлаждения отливки в разных точках по шкале реального времени, зафиксированном на шкале абсцисс. Из графика (опытной трубной заготовки №5) можно определить, что продолжительность заливки (окончание заливки в момент достижения максимальной температуры) составляет 48 сек. Максимальная температура достигла 1050°C через 48 сек с начала заливки, причем такую температуру показали все термопары. Согласно приведенным кривым охлаждения, начало эвтектической кристаллизации начинается примерно через 14сек после достижения максимальной температуры, а полное затвердевание продолжается не более 40-60 сек, т.е. через 2 мин после начала заливки затвердевание отливки полностью завершается.

Температура в теле отливки по высоте и толщине стенки отличается незначительно. Характерно, что температура эвтектической кристаллизации из-за большой скорости охлаждения снижается до 930°C, переохлаждение при кристаллизации достигает 200°C.

Переохлаждение при кристаллизации в нижней зоне трубной заготовки почти на 80°C больше, чем в верхних ее слоях. Это вполне объяснимо, т.к. первые порции чугуна подвергаются интенсивному теплоотводу массивным, холодным кокилем. Продолжительность заливки по данным графикам до уровня термопары, расположенной на втором уровне от верха отливки ~ 42 сек. Время заливки до верхней кромки, зафиксированное по секундомеру – 52 сек. Анализ полученных кривых так же позволяет утверждать, что затвердевание отливки заканчивается через 100-110 сек после начала заливки формы.

Анализируя все записанные кривые охлаждения при разных условиях заливки можно констатировать, что характер кривых охлаждения опытной трубной заготовки во всех случаях практически одинаков. Фиксируемая температура эвтектической кристаллизации значительно ниже теоретической, что свидетельствует об интенсивном теплоотводе в процессе заливки и охлаждении опытной трубной заготовки. Кроме того, если учесть, что при переливе металла из печи в ковш, разогретый до температуры 700... 900°C, падение температуры составляет 50...70°C, в нашем случае, при заливке опытных трубных заготовок, заливка осуществлялась через промежуточную холодную чашу, можно ожидать, что в форму чугун попадал при температуре ниже 1300°C.

Полученные данные свидетельствуют также о том, что затвердевание опытных отливок продолжалось не более 110 сек. независимо от температуры заливки.

Вывод:

- 1) В результате опыта установлено, что оптимальный режимы заливки обеспечиваются при температуре заливки 1365 С , со скоростью заливки 1,52 кг/с кол-во литников 4 при их суммарном сечении 4,52 см². Поскольку при этом были достигнуты необходимое качество отливки.
- 2) Температура кристаллизации чугуна в трубной заготовке отмечена при температуре 850...900°C вместо 1120...1130С, т.е. переохлаждение составило 280...230°C что объясняется ускоренным теплообменом между кокилем и трубной заготовкой, которая имеет толщину стенки всего 15 мм.

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 621.742.06

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЁТА МОЩНОСТИ АГРЕГАТОВ ВИХРЕВОГО СМЕСИТЕЛЯ

Иван Борисович Павловский

Студент 6 курса

кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И.Вербицкий

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Все смесители, используемые в литейном производстве для приготовления формовочных смесей, являются весьма энергоемкими агрегатами. Из-за сложности процессов приготовления смесей до сих пор не разработаны точные методики определения мощности основных смешивающих устройств. Поэтому проведено сравнение существующих методик расчета мощности применительно к наиболее современным роторным вихревым смесителям. Были также составлены и проанализированы математические модели процессов перемешивания с помощью основных рабочих органов смесителя: плужкового агрегата (активатора) и ротора.

Описаны существующие методики расчёта мощности приводов активатора и ротора, выявленных преимущества и недостатки, а также проблемы, связанные с методиками расчёта. Проведено сравнение методик и выбраны наиболее эффективные методики расчёта мощности, которые далее применены к расчёту выбранного смесителя.

По результатам расчетов составлен сравнительный график, который позволил сделать конкретные выводы о точности получаемых расчётных данных в сравнении с полученными эмпирически (рис. 1). Исследование показало, что для одного и того же объёма замеса в смесителе расчеты дают результаты, отличающиеся в 1,5 раза.

Наиболее точной методикой расчёта мощности привода ротора является методика Вербицкого В.И., а наиболее точной методикой расчёта мощности привода активатора является методика Дегтяренко Г.И., поскольку они наиболее близки к реально затрачиваемой мощности.

В качестве примера был рассмотрен роторно-вихревой смеситель, изначально рассчитанный по одной из стандартных методик, в котором для привода активатора был установлен двигатель мощностью 55 кВт, а для привода ротора – мощностью 45 кВт. Расчёт по выбранным эффективным методикам показал, что на смесителе при той же эффективности перемешивания смеси можно установить менее мощные двигатели, мощностью 45 и 35 кВт, соответственно. Экономия в мощности составит примерно 20%, снижаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

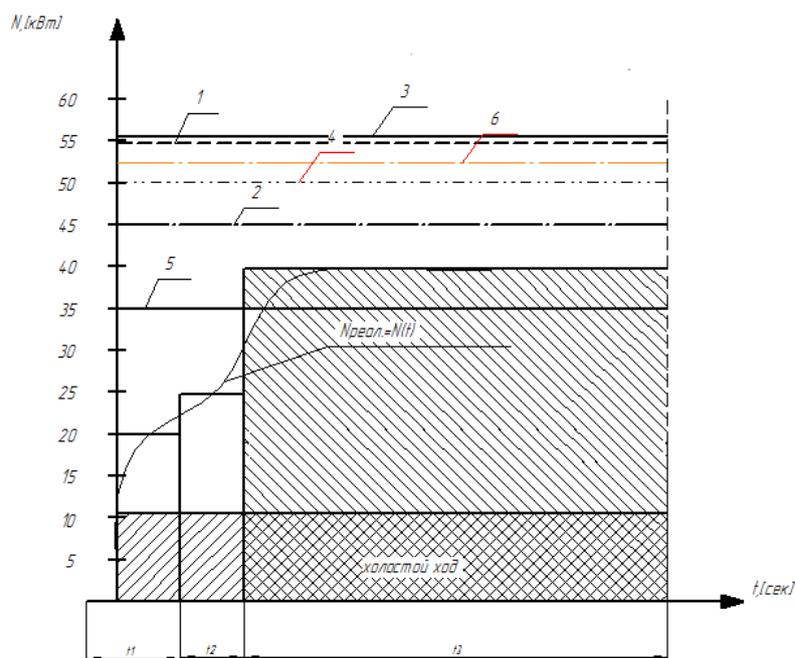


Рис. 1. Сравнение методик расчёта мощности приводов активатора и ротора. t1 – загрузка сухих компонентов, t2 – подача суспензии, t3 – полная загрузка. Методики расчёта мощности привода активатора: 1- Горского А.И., 2- Дегтяренко Г.И., 3- химической промышленности, 4 - Пирожненко В.П.. Методики расчёта мощности привода ротора: 5- Вербицкого В.И., 6 - Ершова М.Ю.

На основе анализа рассмотренных методик, можно сделать следующий вывод: основные погрешности в расчётах мощности вызваны упрощением представлений о процессах и недостаточным учетом факторов, существенно влияющих на энергопотребление. К таким факторам можно отнести: свойства приготавливаемых смесей, геометрические параметры плужков и лопаток ротора, взаимные сопротивления, создаваемые ротором и активатором. Используемые эмпирические коэффициенты не в достаточной мере соответствуют экспериментальным данным. Можно утверждать, что чем больше факторов учитывается в расчетной методике, тем точнее получается результат расчётов.

Литература

1. Горский А.И. Расчёт машин и механизмов автоматических линий литейного производства. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Ершов М.Ю. Расчёт основных конструктивных параметров роторных смесителей, 2003.
3. Пирожненко В.П. Выбор и обоснование рациональных параметров сгустительно-смесительного оборудования закладочных комплексов для приготовления твердеющей смеси на основе хвостов обогащения полиметаллических руд, 2009.

УДК 621.74.041

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕВА РАСПЛАВА АК12 НА ЕГО ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ

Виктор Олегович Родштейн

Студент 2 курса

кафедра «Литейные Технологии»

Московский государственный технический университет им.Баумана

Научный руководитель: С.Л. Тимченко

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «физика»

Создание оптимальных условий кристаллизации и технология приготовления расплава являются базой для улучшения структуры и эксплуатационных свойств отливок. Первичная стадия любого литейного процесса, включающая приготовление расплава, играет ключевую роль и в определенной степени предопределяет свойства литого изделия. Однако ей не всегда уделяют должное внимание. Традиционно попытки воздействия на систему на этом этапе ограничиваются в основном дополнительным легированием сплава для оптимизации его состава и рафинированием, с целью удаление вредных примесей. Вместе с тем установлено, что расплавы являются сложными динамическими системами, которые могут находиться в различных структурных состояниях и совершать переходы между ними под влиянием внешних воздействий [1,2]. Также обнаруживается влияние структурного состояния исходного расплава на структуру и свойства отливок и слитков.

Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании влияния температуры перегрева расплава на жидкотекучесть алюминиевого сплава.

В качестве сплава для исследований выбран широко используемый в машиностроении промышленный литейный алюминиевый сплав АК12 (Si– 10-13%; Mg≤0.1%; Cu≤0.6%; Mn≤0.5%; Ti≤0.1%; Fe≤1.5%; Zn≤0.3%, Zr≤0.1%) [3]. В результате проведения спектрального анализа, используемого в экспериментах сплава, был уточнен его химический состав: Si – 10.9%; Cu≤0.24%; Fe≤0.51%; Zn≤0.19%, Mn≤ 0.17%; Mg≤0.09%; Ni≤0.04%; Ti≤0.03%.

Экспериментальная часть:

С целью изучения влияния температуры перегрева расплава на механические и литейные свойства были изготовлены образцы из алюминиевого сплава АК12. Плавка происходила в печи сопротивления. Все пробы были залиты при $T > T_{пл}$. Выбраны следующие температуры перегрева расплава: 800, 850, и 925 С. Температура контролировалась хромель-алюмелевыми термопарами, сигнал с которых обрабатывался цифровым мультиметром PeakTech 2010 DMM. Для набора статистики были изготовлены по четыре образца при одной заливке.

Приготовление расплава осуществлялось в печи сопротивления [4]. Большая часть электрических печей сопротивления — косвенного действия. В них электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через нагревательные элементы и передаётся нагреваемым изделиям посредством излучения, конвекцией либо теплопроводностью. Печь состоит из рабочей камеры, образованной футеровкой из слоя огнеупорного кирпича, несущего на себе изделия и нагреватели и изолированного от металлического кожуха теплоизоляционным слоем (рис. 1). Работающие в камере печи детали и механизмы, а также нагревательные элементы выполняются из жаропрочных и жароупорных сталей и других жароупорных материалов. Электрические печи сопротивления косвенного действия для расплавления легкоплавких металлов (свинец, баббит, алюминиевые и магниевые сплавы) конструируются либо в виде печей с металлическим тиглем и наружным обогревом, либо в виде отражательных печей с ванной и расположенными над ней в своде нагревателями.

Нами была использована муфельная печь сопротивления.

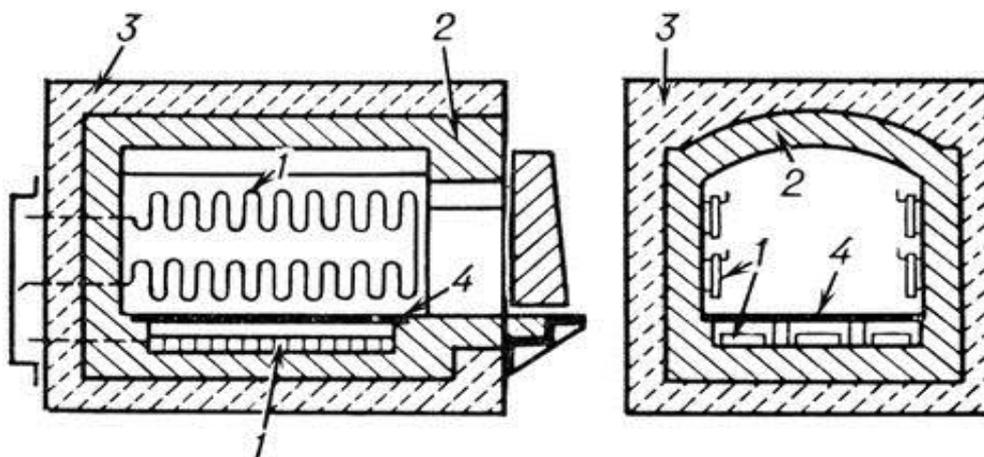


Рис. 1. Схема печи сопротивления

1 - нагревательные элементы; 2 - огнеупорная часть кладки;
3 - теплоизоляция; 4 - жароупорная подовая плита

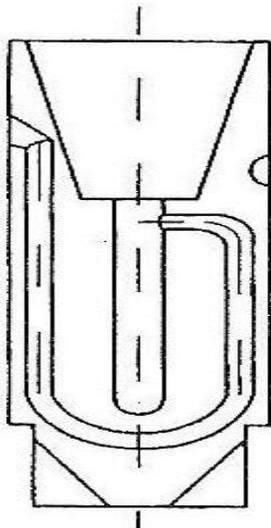




Рис. 2. Концы проб на жидкотекучесть при разных температурах

Для исследования расплава на жидкотекучесть была использована U-образная проба Нихендзи-Самарина (рис. 2) [5]. Количественной характеристикой жидкотекучести является длина заполнившейся части вертикального канала диаметром 6 мм, измеренная от места перехода более широкого стояка в узкий канал.

Исходя из анализа полученных проб на жидкотекучесть, можно сделать вывод, что сплав АК 12 имеет хорошие литейные свойства, то есть высокую жидкотекучесть в широком температурном интервале. Заполняемость проб является хорошей. Однако по визуальной контроле окончаний проб можно сделать вывод, что металл растекается лучше всего при $T=925\text{ C}$, а с понижением температуры его растекаемость существенно уменьшается (рис. 3). Это связано с увеличением коэффициента поверхностного натяжения с понижением температуры.

Литература

1. Исходные расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов / И.Г. Бродова, П.С. Попель, Н.М. Барбин, Н.А. Ватолин. – Екатеринбург, 2005.
2. Тимченко С.Л., Кобелева Л.И., Задорожный Н.А. Влияние электрического тока на структуру и свойства алюминиевого сплава // Физика и химия обработки материалов (ФизХОМ). – 2011. - №6. – С.82-87.
3. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / М., «Металлургия», 1977. - 272 с.
4. Благодоров Б.П., Грачев В.А., Сухарчук Ю.С. и др. Атлас конструкций. - М.: Машиностроение, 1989. - 156 с.: ил.
5. ГОСТ 1583-93, ОСТ 4.021.009-92, ОСТ 4.021.010-92.

УДК 621.74.06

АНАЛИЗ И РЕКОНСТРУИРОВАНИЕ МЕШАЛОК

Николай Александрович Ромашов

Бакалавр 4 года, кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А. А. Мандрик

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Качество отливок в литье по выплавляемым моделям во многом зависит от свойств и качества суспензий. Суспензия – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц и жидкости (связующие вещества, растворители разбавители). Суспензия должна обладать рядом свойств: седиментационной устойчивостью, смачиваемость поверхности моделей и оболочек, живучестью.

Седиментационная устойчивость – это способность суспензии не расслаиваться. Смачивание поверхности моделей особенно важно для первого слоя.

Живучесть – продолжительность жизни суспензии, то есть сохранение технологической вязкости.

При нанесении суспензии на модельный блок, важно обеспечить требуемый уровень однородности суспензии, то есть равномерное распределение твердых частиц в жидкости. Традиционную турбинную мешалку перед окунанием модельного блока отключают, чтобы не повредить модельный блок об крыльчатку. Поэтому у суспензий с невысокой седиментационной устойчивостью часть твердых частиц может осесть на дно емкости мешалки. При этом вязкость суспензии снижается, что в свою очередь влияет на качество огнеупорной формы. Не качественная огнеупорная форма приводит к браку отливок. Во избежание оседания твердых частиц, необходимо осуществить непрерывное перемешивание суспензии.

Целью данной работы является выбор оптимальной схемы мешалки для хранения и нанесения суспензии, а также её доработка.

В ходе работы был проведен анализ нескольких видов мешалок. Анализ включает в себя:

- Описание устройства мешалок в статике;
- Описание работы мешалок в динамике;
- Указание основных достоинств конструкций;
- Указание основных недостатков конструкций.

По результатам анализа была получена оригинальная схема мешалки, устранены недостатки исходной схемы мешалки, взятой за основу. Введены улучшения, связанные с удобством обслуживания мешалки.

УДК 621.74.04

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ПОСЛОЙНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ

Михаил Вадимович Тверской⁽¹⁾, Дмитрий Эдуардович Хилков⁽²⁾

Студент 5 курса^{(1),(2)}

кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Ю. Коротченко

доктор технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

В настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся перспективных производственных процессов являются аддитивные технологии или технологии послойного синтеза. Аддитивные технологии объединяет использование цифрового проектирования САД (Computer-aided Design) для создания компьютерной модели будущей детали и получения самого изделия путем послойного добавления материала на специальном оборудовании с использованием различных методов. К основным видам аддитивных технологий можно отнести селективное лазерное спекание, лазерную стереолитографию и пространственную 3D печать.

Одной из основных проблем являются исходные материалы – фидстоки порошковые смеси металлических, керамических и полимерных материалов, используемые для производства изделий. Качество фидстоков (размер частиц, однородность смеси по составу) определяет механические свойства итогового изделия. Несовершенство смесей не позволяет применять аддитивные технологии для изготовления ответственных деталей с высокими требованиями к проценту брака. Также стоит отметить, что очень высокая стоимость эксплуатации оборудования и закупка исходных материалов.

Для решения данных проблем было предложено использовать гибридные производственные процессы, совмещающие аддитивные технологии и традиционные технологические методы.

УДК 621.74.043.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕССОВОГО МЕХАНИЗМА МАШИНЫ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сергей Игоревич Урванцев

Студент 4 курса,

кафедра «литейные технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И. Вербицкий

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Литье под давлением - это машинный процесс принудительного заполнения полости формы жидким металлом и его последующее затвердевание под действием давления. Этот метод литья позволяет получить высококачественные, плотные, тонкостенные отливки. Литье под давлением напрямую зависит как от параметров формы, литниковой системы, вентиляционных каналов, так и от параметров самой машины.

Машины для данного способа литья состоят из двух основных механизмов: механизм запираания и механизм прессования. Механизм запираания должен обеспечивать удержание формы в закрытом состоянии, а механизм прессования должен осуществлять запрессовку металла и создание давления в форме.

Целью работы было изучить и проанализировать работу прессового механизма машины литья под давлением с горизонтальной холодной камерой прессования на основе математической модели.

В начале работы стояла задача построить расчетную схему исследуемого механизма, по которой на следующем этапе была построена математическая модель, описывающая процесс прессования с заданными условиями.

На конечном этапе были определены необходимые параметры прессового механизма и проведены его исследования. В результате работы получено графическое описание процесса прессования, которое позволяет нам определить недостатки настройки машины и ее конструкции.

Литература

1. *Каширцев Л.П.* Литейные машины. Литье в металлические формы: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2005, 368 с.; ил.
2. Машины для литья под давлением. Под ред. *Б.Е. Розенберга*. М., «Машиностроение», 1973, 288с
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
4. Приводы литейных машин. *Беликов О.А., Каширцев Л.П.*, М., «Машиностроение», 1971, стр. 311.

УДК 621.746.073

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИТНИКОВОЙ И ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМ НА ПОРИСТОСТЬ ОТЛИВКИ «КОРПУС ГИДРОПЕРЕДАЧИ» ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Иван Александрович Карпов⁽¹⁾, Ильнур Камильевич Фахрутдинов⁽²⁾

Бакалавр 4 года^{(1), (2)}

Кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Зарубин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Литье под давлением (ЛПД) – это машинный процесс, позволяющий получать тонкостенные отливки повышенного качества с высокой производительностью.

Подвод жидкого металла от камеры прессования машины ЛПД в рабочую полость пресс-формы осуществляется через систему каналов, называемую литниковой системой. Литниковая система может иметь различную конфигурацию, которая зависит от параметров изготавливаемой отливки, технологической оснастки и оборудования, на котором реализуется данный процесс.

В данной работе рассматривается процесс изготовления отливки «Корпус гидропередачи» на машине с горизонтальной холодной камерой прессования, где литниковая система состоит из двух элементов: подводящего канала (коллектора) и питателя. К отливке

предъявляются повышенные требования по герметичности, поэтому необходимо максимально уменьшить количество газовых дефектов в теле отливки.

Отвод воздуха, находящегося в полостях формы, реализуется через вентиляционную систему, которая представляет собой промывники, соединенные с полостью формы и атмосферой вентиляционными каналами (воздухоотводами). Однако, вентиляционная система не обеспечивает полного отвода газов из полости формы, т.к. в процессе заполнения формы воздух замешивается в расплав.

Целью работы было получение наиболее оптимального варианта конструкции вентиляционной и литниковой систем, при которых отливка имела бы минимальную газовую пораженность. Работа велась в два этапа.

На первом этапе изменялась конфигурация литниковой системы и место ее подвода к отливке, и моделировался процесс заполнения формы в программе Flow 3D. В ходе проектирования были рассмотрены радиально и касательно направленные боковые литниковые системы с щелевым питателем и тангенциальная литниковая система. В процессе моделирования были получены кинограммы заполнения полости формы расплавом, его затвердевания и охлаждения, а также модель распределения газовых дефектов внутри отливки. Анализ полученных результатов позволил оценить влияние литниковой системы на газовую пористость. По результатам анализа наилучшим вариантом является использование тангенциальной литниковой системы.

На втором этапе работы разрабатывалась конструкция вентиляционной системы. По результатам первого этапа работы, для тангенциальной литниковой системы, было определено необходимое количество промывников, а также места их установки. Повторно были смоделированы процессы заполнения формы расплавом, затвердевания и охлаждения отливки. В процессе анализа полученных результатов было проведено сравнение степени газовой пораженности отливки, полученной с использованием вентиляционной системы и без нее. По результатам анализа, очевидно, что использование промывников значительно уменьшает степень газовой пораженности.

УДК 621.74.041

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА РАСПЛАВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА (АК12)

Владимир Александрович Щербинин

Студент 2 курса

Кафедра «Литейные технологии»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: С.Л. Тимченко

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «физика» (ФН-4)

В настоящее время технология литейного процесса подразумевает не только получение каких-либо форм изделий, но и возможность контроля механических и литейных свойств получившихся отливок. Это дает огромный скачок в различных сферах деятельности общества (от ювелирного производства до военной промышленности). Отсюда следует логичный вывод: изучение механических и литейных свойств изделия необходимо для технологического прогресса.

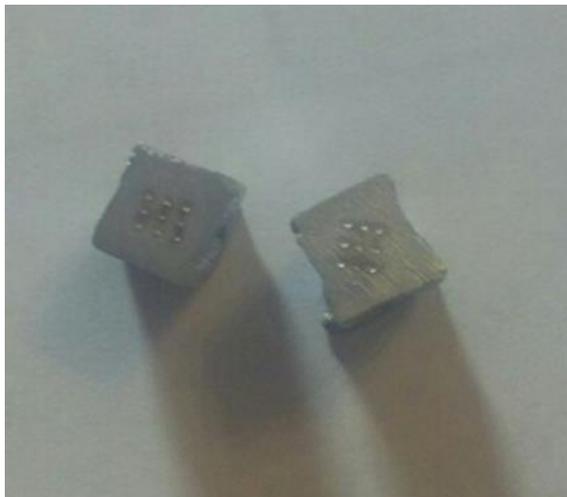
Изучение свойств сплавов является довольно распространенной темой в научных исследованиях. Например, в статье [1] экспериментально изучалось влияние электрического

тока плотностью $j \sim (105 - 107) \text{ A/m}^2$ на процесс кристаллизации алюминиевого сплава (АК12) при литье в песчаные формы и показана возможность управления процессом кристаллизации с помощью внешнего электрического воздействия.

Экспериментальная часть

С целью изучения влияния температуры перегрева расплава на механические и литейные свойства были изготовлены образцы из алюминиевого сплава АК12. Выбраны следующие температуры перегрева расплава: 800, 850, и 925 С. Для набора статистики были изготовлены по четыре образца при одной заливке.

Для подтверждения наличия химических элементов в сплаве, представленных выше был проведен дополнительно спектральный анализ используемого сплава.



Атомы каждого химического элемента имеют строго определённые резонансные частоты, в результате чего именно на этих частотах они излучают или поглощают свет. Это приводит к тому, что в спектрографе на спектрах видны линии (тёмные или светлые) в определённых местах, характерных для каждого вещества. Интенсивность линий зависит от количества вещества и его состояния. В количественном спектральном анализе определяют содержание исследуемого вещества по относительной или абсолютной интенсивностям линий или полос в спектрах. Для проведения анализа химического состава были сделаны шлифы из данного сплава(рис.1).

Рис. 1. Шлифы для химического анализа.

На снимке видны характерные следы от воздействия лазера, используемого для получения паров сплава. Впоследствии был проведен анализ спектра этих паров.

Результаты спектрального анализа образцов залиты при температуре 925 С представлены в таблице 1.

Таблица 1

Образец	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Al
1образец(1)	0,23	0,45	0,08	0,15	0,03	10,7	0,03	0,18	
1образец(2)	0,26	0,58	0,09	0,20	0,06	10,8	0,04	0,20	
1образец(3)	0,23	0,49	0,09	0,17	0,05	11,1	0,03	0,19	
Среднее арифметическое	0,24	0,51	0,09	0,17	0,04	10,9	0,03	0,19	Основной

Спектральный анализ материала образцов, полученных при температуре заливки 800 С представлены в таблице 2.

Таблица 2

Образец	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Al
7образец(1)	0,22	0,45	0,08	0,15	0,03	10,9	0,03	0,22	
7образец(2)	0,18	0,38	0,09	0,14	0,02	10,9	0,04	0,23	

7образец(3)	0,21	0,51	0,10	0,17	0,07	11,5	0,03	0,24	
Среднее арифметическое	0,20	0,45	0,09	0,15	0,04	11,1	0,03	0,23	Основной

Наблюдается явное различие в процентном содержании некоторых веществ, при смене температуры заливки. Так же замечаем, что количество кремния в каждом эксперименте соответствует процентному содержанию этого элемента, которое соответствует доэвтектическому сплаву (10,9 % и 11,1% Si), но очень близкому по диаграмме состояния Al-Si к эвтектическому.

Расчет литниково-питающей системы для испытания образцов на удар.

На рис. 2 показана схема отливки с припуском. Данная отливка является заготовкой для изготовления пробы на удар согласно ГОСТ [4]. Схема литниково-питающей системы показана на рис. 3. Способ изготовления отливок – литье в песчаные формы.

Расчет литниковой системы после выбора ее конструкции сводится к определению оптимальной продолжительности заливки формы и площади поперечного сечения всех элементов

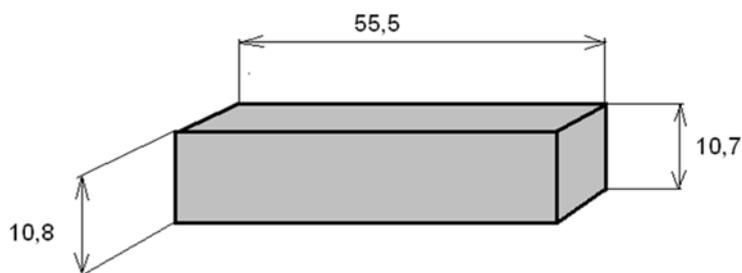


Рис. 2. Схема отливки

системы. Длину каждого литникового канала принимают конструктивно, т. е. без расчета, исходя из размещения литниковой системы в габаритах формы.

Расчет литниковой системы после выбора ее конструкции сводится к определению оптимальной продолжительности заливки формы и площади поперечного сечения всех элементов системы. Длину каждого литникового канала принимают конструктивно, т. е. без расчета, исходя из размещения литниковой системы в габаритах формы.

1. Расчет времени заполнения формы.

Время заполнения формы зависит от литейно-технологических свойств сплава, температуры заливки, теплоаккумулирующей способности материала формы, размеров и особенности конструкции отливки. Законы неразрывности струи не позволяют учесть все эти параметры и поэтому теоретически полученная зависимость определяет время заполнения формы приближенно.

Чаще всего для расчёта времени используют формулу Г. М. Дубицкого, К. А. Соболева [2]:

$$\tau = S\sqrt[3]{\delta G} \quad (1)$$

τ – время заполнения, с;

S – эмпирический коэффициент;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – металлоемкость отливки, кг.

Определим металлоемкость отливки.

Металлоемкость отливки определяют как сумму масс отливки, литников и прибылей, если они заполняются через общую с отливкой литниковую систему. В этом случае удобно пользоваться следующим выражением:

$$G = G_0 + G_{\text{Л}} + G_{\text{П}}; \quad (2)$$

где G_0, G_L, G_{Π} – соответственно массы отливки, литников и прибылей, кг;
Так как прибыли нет, $G_{\Pi} = 0$.

2. Определим скорость заливки.

$$V = Q/\tau; \quad (3)$$

τ – время заполнения отливки с прибылью, с;

Q – высота отливки с прибылью, заполняемой из общей литниковой системы, мм.

3. Определим суммарную площадь сечения питателей.

Для определения суммарной площади сечения питателей удобно использовать формулу

Б. Ованна [2]:

$$\sum F_{\text{пит}} = \frac{G \cdot 1000}{\tau \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \sqrt{H_p \cdot 2g}} \quad (4)$$

G – металлоемкость отливки, кг;

μ – коэффициент расхода литниковой системы;

γ – плотность жидкого алюминия г/см³;

g – ускорение свободного падения, 980 см/с²;

H_p – расчетный напор металла, см.

Определим расчетный напор металла;

$$H_p = H - P_2 / 2C \quad (5)$$

H – первоначальный напор, см;

P – расстояние от самой верхней точки отливки до уровня подвода, см;

C – высота отливки по положению при заливке, см.

В данном случае мы заливаем так, что $P=C$;

4. Определение площади поперечного сечения литникового хода, стояка и питателя

$$\sum F_{\text{пит}} : F_{\text{л.х}} : \sum F_c = 1 : 1,2 : 1,4;$$

Получим: $F_{\text{л.х}} = 0,468 \text{ см}^2$; $F_c = 0,655 \text{ см}^2$; $F_{\text{ст}} = 0,39 \text{ см}^2$;

Выводы: получены численные значения размера площадей питателя, стояка и литникового хода, по которым можно получить образцы для испытаний.

Литература

1. С.Л. Тимченко. Исследование кристаллизации сплава под действием электрического тока //Расплавы. – 2011. - №4. – С.53-61.
2. А. Э. Вирт, А. М. Лаврентьев. Расчет литниковых систем стальных отливок // 2012г. // с 7-11
3. Библиотека технической литературы. § 2. Механические свойства металлов // с 45-47.
4. ГОСТ 7268-82. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб

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:

Белокуров Олег Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-6

УДК 621.7.043**ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДУ ЭРИКСЕНА**

Василий Иванович Банников

*Студент 4 курса**кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: В.А. Дёмин,**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

Тезисы:

1. На производстве для заказа требуемого материала, а также для проверки полученного материала проводят ГОСТированные испытания листового материала по методу Эриксену.
2. В данном исследовании проводятся соответствующие испытания в программном комплексе AutoForm.
3. Для проведения данного исследования был проработан соответствующий ГОСТ и составлен список рекомендаций (таблица 1.) по выполнению испытания для определения группы штампуемости материала. При проведении реальных исследований на производстве окончанием испытания является понижение силы деформирования, то есть в момент появления шейки.
4. Глубина лунок 1 и 2-3 экспериментов отличаются на 0,1 мм
5. Характер FLD диаграмм и графиков силы деформирования у 1 и 2-3 экспериментов одинаков, полученные значения отличаются незначительно.
6. Исследования в программном комплексе AutoForm показали, что сталь DC04 не может считаться европейским аналогом Стали 08кп из-за лучших пластических характеристик.
7. Программный комплекс AutoForm не позволяет вносить собственные стали в библиотеку, из-за этого невозможно сравнить корректность результатов моделирования с, полученными экспериментальным путем, данными.

Таблица 1. Список рекомендаций из ГОСТа

Нумерация из ГОСТа	Рекомендации
1.2.	Эксперимент проводят не менее, чем на 3х лунках; при ширине листа более 90мм, расстояние между лунками для испытаний 90мм; при ширине листа более 90мм, расстояние от края до лунки не менее 45мм;
2.9.	У матрицы, прижимных колец и пуансона HV750;
4.1.	Ширина образца, сторона квадрата или диаметр круга 90 мм; толщина образца 2 мм; диаметр пуансона 20 мм; внутренний диаметр матрицы 27 мм; внутренний диаметр прижимного кольца 33 мм;
4.2.	Прижим 10кН;
4.3.	Скорость прессы при проведении эксперимента для 1 лунки – 5-20 мм/мин (0,333 мм/сек); 2-3 лунки – 5-10 мм/мин (0,166 мм/сек);
4.4.	Окончанием испытания является наличие трещины, видимой на просвет

Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. И доп.. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.-520с
2. ГОСТ 10510-80 Метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксену.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ КОРПУСА ГЛУБОКОВОДНОГО НЕОБИТАЕМОГО АППАРАТА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Егор Евгеньевич Александрович

Студент 4 курса

кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»

Санкт-Петербургский Политехнический Университет

Научный руководитель: Б.А. Кривицкий

кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением»

В настоящее время для проведения глубоководных исследований был разработан целый ряд необитаемых аппаратов, корпуса которых планируется изготавливать из высокопрочного титанового сплава. Основными элементами корпусов являются полые детали полусферической формы с диаметром до 700 мм и толщиной стенки до 15 мм.

В процессе разработки технологии изготовления заготовок данных деталей возникли вопросы относительно метода их получения, так как производство таких заготовок «традиционными» методами является невозможным из-за высокой прочности и низкой пластичности материала. Кроме того к деталям этого типа предъявляется ряд требований по макро и микроструктуре. В связи с этим для изготовления таких заготовок был предложен метод горячей объёмной штамповки по схеме близкой к обратному выдавливанию.

Целью данной работы является изучение возможности практической реализации данного метода, а так же прогнозирование структуры материала ответственной за механические и эксплуатационные свойства изделия.

Для решения этих задач в программном комплексе Simufact.forming было проведено математическое моделирование данного процесса. Производился расчёт следующих параметров: технологическая сила, нагрузка на инструмент, распределение температуры по сечению поковки и степень деформации.

Анализ результатов моделирования показал, что данный метод практически реализуем в промышленных условиях. Кроме того создаются благоприятные условия для формирования требуемой структуры.

На основании результатов исследования были даны рекомендации относительно необходимого оборудования, выбора инструмента и технологических режимов.

Данная работа проводилась в рамках сотрудничества с ЦНИИ КМ «Прометей» (Центральный Научно Исследовательский Институт Конструкционных Материалов «Прометей»).

УДК 621.771.294

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕОФОРМЛЕНИЯ ШТАМПОВАННОЙ ПОКОВКИ КОЛЁСНОГО ДИСКА ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Анна Артаваздовна Бегларян

*Студентка 5 курса**кафедра «Технология и автоматизация обработки материалов»**«МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского», Ступинский филиал**Научный руководитель: А.В. Овчинников**доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация обработки материалов»*

Алюминиевые сплавы обладают достаточно высокой технологичностью в процессах обработки давлением, поэтому горячей объёмной штамповкой из них можно получать поковки сложной формы. К таким поковкам можно отнести колёсные диски и барабаны, конфигурация которых отличается тонкими и протяжёнными сечениями (обод, ступица, полотно). Для оформления этих элементов в штампах выполняют глубокие полости, заполняемые при штамповке по схеме вдавливания. Если штамповку проводят на прессах, где заполнение ручья идёт за один рабочий ход, в глубоких полостях отсекаются воздух и продукты выгорания смазки. По мере заполнения ручья металлом давление в отсечённых полостях нарастает и может быть причиной неоформления поковки.

Целью работы являлось определение энергосиловых параметров, вызывающих незаполнение глубоких полостей ручья на примере горячей штамповки диска колеса из алюминиевого сплава АД33 на гидравлическом прессе путём компьютерного моделирования в отечественная САЕ - системе QForm 7. Граничные условия нарастающего давления в отсечённых полостях задавали с помощью функции «боксы» в табличной форме «время – давление».

Для предварительной оценки величины и динамики изменения давления в отсечённых полостях использовали уравнение состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона с учётом нагрева газов до температуры штамповки. Расчёты, сделанные на основании моделирования в системе QForm уменьшения объёма двух полостей по мере заполнения ручья, показали рост давления от атмосферного до 26 МПа в малой и 43 МПа в большой полостях нижнего штампа. Результаты моделирования штамповки с учётом противодействия отсечённых газов показаны на рис. 1.

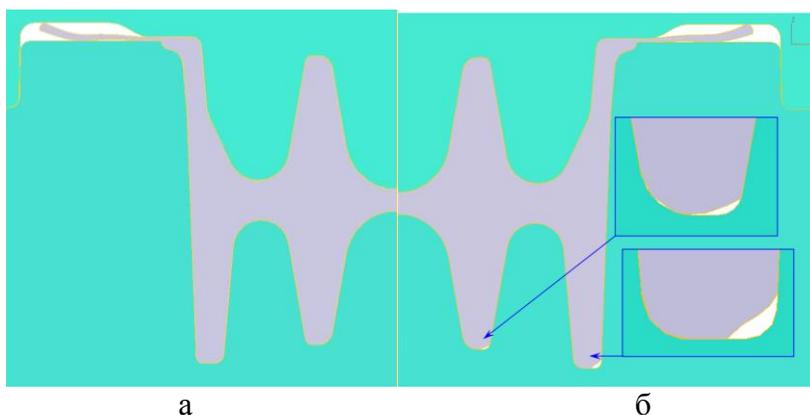


Рис. 1. Оформление (а) и неоформление (б) поковки в глубоких полостях штампа из-за противодействия газов.

Моделирование без учёта противодействия (рис. 1, а) даёт полную оформляемость поковки при смыкании штампов. Однако наложение граничных условий противодействия газов (рис. 1, б) приводит к неоформлению поковки на дне глубоких полостей штампа.

Установленный возможный технологический дефект может быть устранён сверлением газоотводящих каналов в глубоких полостях штампа.

УДК 621.7.043

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕССА КД 2128 Е

Андрей Александрович Бойков

Студент 6-го курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Белокуров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

Стандартным предохранительным устройством для кривошипно-ползунного механизма является предохранительная шайба, которая подвергается разрушению при превышении нагрузки. Эта конструкция имеет множество существенных недостатков, которые отрицательно сказываются на эффективности производства. К ним относятся трудоемкость изготовления предохранительной шайбы, необходимость ее замены при срабатывании предохранителя и высокие требования к точности установки. Этим недостаткам лишены самовосстанавливающиеся предохранительные устройства.

Разработана конструкция предохранителя, в которой используется пакет тарельчатых пружин (поз.2 рис. 1), предварительно сжатых до номинальной силы пресса и зафиксированных в таком положении прижимной резьбовой втулкой (поз.4 рис. 1). В этот пакет упирается «стакан», в котором находится шарнирная кинематическая пара «шатун-ползун» (поз.1 рис. 1). При превышении нагрузки перемещение стакана фиксируется фотоэлементом и совмещённым с ним звуковым устройством (поз.3 рис. 1), которое при превышении номинальной нагрузки сообщает об этом штамповщику звуковым сигналом. Наиболее нагруженным в данной конструкции является резьбовое соединение втулка-ползун. Расчётом согласно рекомендациям [2] подтверждена прочность соединения.

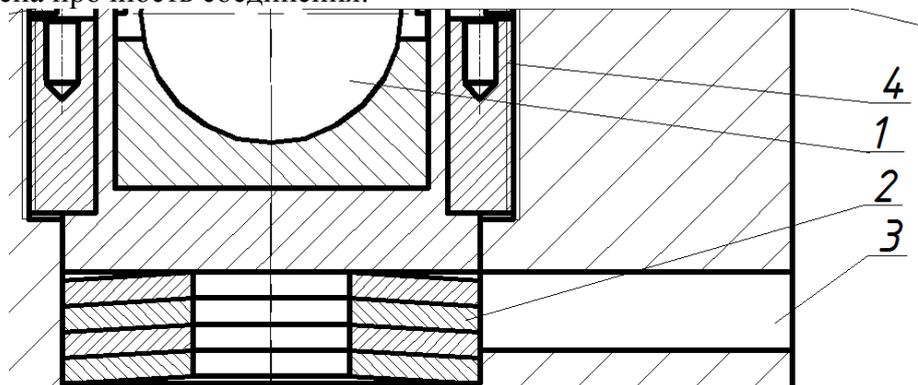


Рис. 1. Предохранительное устройство: 1 – шарнир кинематической пары «шатун-ползун»; 2 – пакет тарельчатых пружин, предварительно сжатых до номинальной силы пресса; 3 – фотоэлемент и совмещённое с ним звуковое устройство оповещения; 4 – прижимная резьбовая втулка

Как видно из вышесказанного, точным необходимо выполнить только один размер – тот, который определяет положение по высоте фотоэлемента. Но данное нововведение имеет небольшой недостаток – уменьшение жёсткости КШМ. Но, смещение ползуна под действием силы деформирования будет увеличиваться не более, чем на 61 мкм (данные исследования в программном комплексе ПА9 согласно рекомендациям [1]). Как показывает практика, такое отклонение не оказывает влияние на точность штампуемых изделий и на протекание процесса в целом.

Литература

1. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с., ил.
2. Л.П. Варламова. В.П. Тибанов. Методические указания к выполнению домашнего задания по разделу «Соединения» курса «Основы конструирования деталей и узлов машин». – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 88 с., ил.

УДК 621.7.043

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ШТАМПА ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ КОРОбЧАТЫХ КРОНШТЕЙНОВ

Андрей Александрович Бойков

Студент 6 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Белокуров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

Разработан универсальный штамп листовой штамповки коробчатых кронштейнов, служащих для крепления высокоточной вычислительной электроники внутри корпуса отсека ракеты класса «воздух-воздух».

Большое разнообразие размеров данных кронштейнов (рис. 1) при одинаковой конфигурации и малая партия каждой модификации не позволили применить для их производства штамповку. Вместо этого приходится использовать универсальные методы производства, позволяющие обойтись без специальной оснастки, но значительно увеличивающие трудоёмкость изготовления. Воспользовавшись тем, что у нас есть информация о диапазоне варьирования размеров кронштейнов, введём в производство универсальный штамповый механизм (рис. 2), который будет способен производить как операцию вырубки развёртки, так и операцию гибки. Пробивка крепёжных отверстий будет осуществляться на участке универсальной штамповки.

В программном комплексе QForm и Deform исследовано протекание процесса, сопоставлены практические решения с рекомендациями [1] по разработке технологии листовой штамповки. Рассчитан инструмент и приняты необходимые конструкторские решения для обеспечения требуемой прочности и жёсткости конструкции. Введены механизмы регулировки положения формообразующих поверхностей относительно заготовки, что обеспечивает требуемый диапазон размеров получаемых кронштейнов.

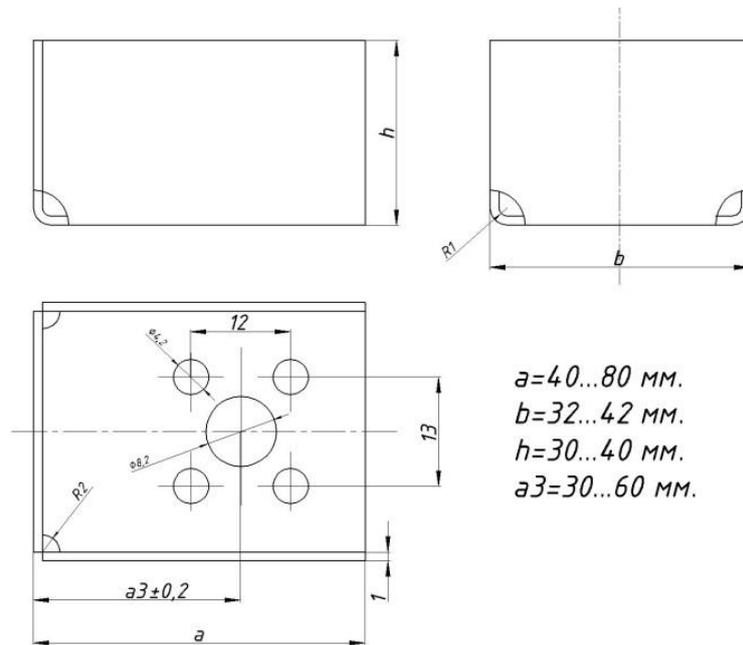


Рис. 1. Коробчатый кронштейн

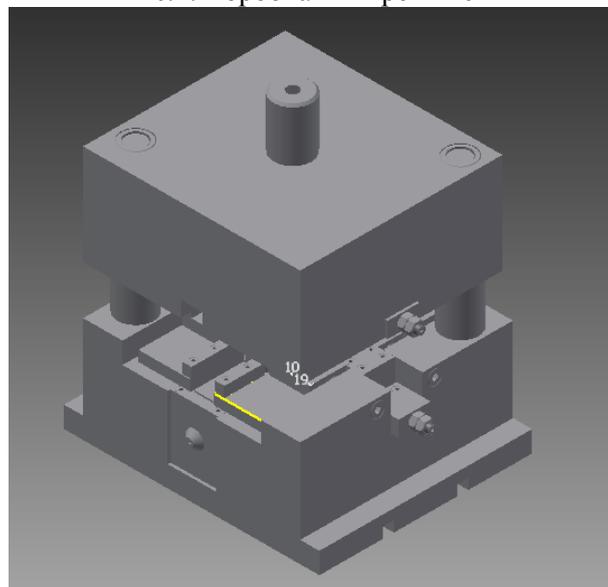


Рис. 2. Универсальный штамп

Предприняты меры по максимальному упрощению и, как следствие, удешевлению конструкции данного штампа. Рассчитаны резьбовые соединения конструкции согласно рекомендациям [2].

Литература

1. *Зубцов М.Е.* Листовая штамповка. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1980. – 432 с., ил.
2. *Л.П. Варламова. В.П. Тибанов.* Методические указания к выполнению домашнего задания по разделу «Соединения» курса «Основы конструирования деталей и узлов машин». – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 88 с., ил.

УДК 621.98.043

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГИБОЧНОЙ МАТРИЦЫ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ FDM МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА

Григорий Дмитриевич Григоренко

*Аспирант 2го года обучения**Кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: С.А. Евсюков**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

В современном листоштамповочном производстве для формообразующих операций используют специальный инструмент-штамп. Штамп состоит из вспомогательных деталей, таких как колонки, втулки, плиты и т.д. Однако основными деталями являются пуансон и матрица. Традиционные способы изготовления данных деталей характеризуются удалением лишнего металла в стружку, что требует больших затрат времени и ресурсов. При серийном, крупносерийном, массовом, производстве такие способы обоснованы, однако, при единичном и мелкосерийном производстве представляют собой одну из основных проблем т.к. удельные затраты ресурсов на готовую продукцию значительно выше.

Одним из возможных способов решения таких проблем является внедрение в производство технологии послойного синтеза - FDM. В отличие от традиционных технологий модель создается путем добавления материала слой за слоем. Процесс полностью автоматизирован, не требует высококвалифицированных специалистов и нужна лишь 3D модель детали. По данным компании Piper Aircraft (США) срок изготовления формообразующего инструмента FDM методом сократился до 68% по сравнению с изготовлением инструмента на станках с ЧПУ.

Однако, процесс создания технологией послойного синтеза сплошной детали слой за слоем так же требует достаточно большого количества времени и объема материала. Исходя из этого, разработка метода, позволяющего решить данные проблемы, является актуальной задачей. Одним из способов снижения времени и расхода материала может стать применение сотовых конструкций матрицы и пуансона вместо сплошных с сохранением ее геометрических размеров так, чтобы она не теряла своей прочности - способности выдерживать нагрузки при штамповке.

В качестве примера рассмотрим одну из наиболее распространенных операций листовой штамповки – одноугловую гибку полосы.

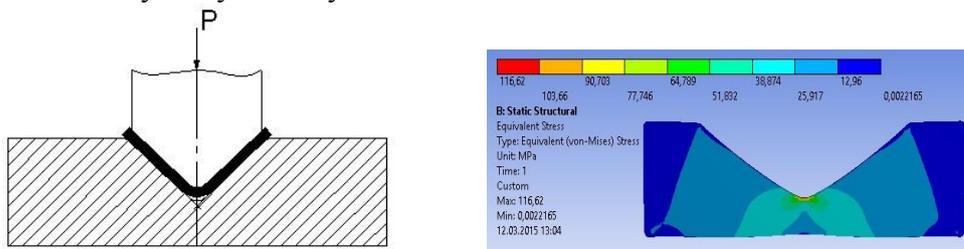


Рис. 1

В программном комплексе AutoForm при моделировании процесса одноугловой гибки были получены нагрузки, действующие на инструмент.

В программном комплексе ANSYS 14.5 был произведен расчет на прочность сплошной матрицы, который показал, что наибольшие напряжения возникают на радиусе скругления матрицы, в то время как в остальной части матрицы напряжения значительно ниже. Исходя из

этого, можно сделать вывод, что постепенное удаление материала из ненагруженной зоны не повлияет на прочность матрицы, либо изменение напряженного состояния будет незначительно.

На рисунке 2 показаны максимальные напряжения, возникающие в матрице при гибки в зависимости от ширины сот. По графику видно, что рациональная ширина сот равна 3,5 мм. Дальнейшее уменьшение ширины сот ведет к незначительному изменению максимальных напряжений.

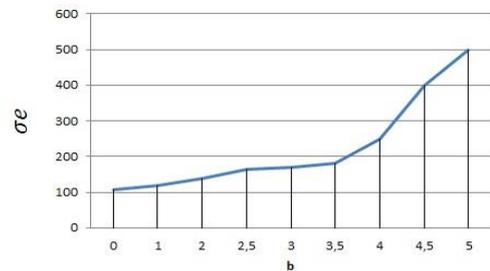
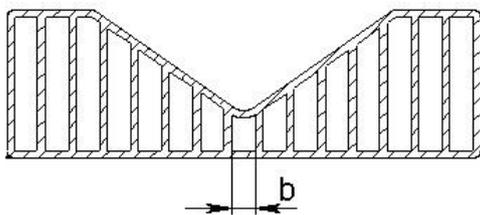


Рис. 2

На рисунке 3 показаны максимальные напряжения, возникающие в матрице при гибки в зависимости от ширины заполнения материала в центральной части. График показывает, что при $L=10$ мм максимальные напряжения близки к напряжениям, возникающим в сплошной матрице.

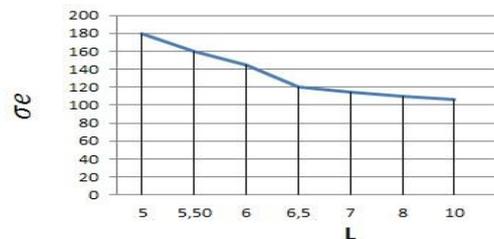
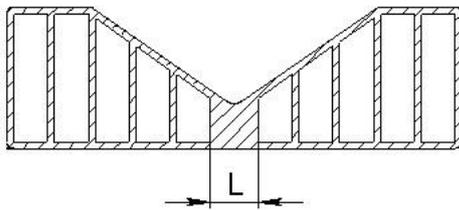


Рис. 3

Литература

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. - 6-е изд., перераб. и доп. - Л. : Машиностроение, 1979. - 520 с. - Библиогр.: с. 512-516.
2. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Учебник для ВУЗов по специальности "Машины и технология обработки металлов давлением" / Зубцов М. Е. - Изд. 3е, перераб. и доп. - Л. : "Машиностроение", 1980. - 432 с., ил.
3. <http://www.stratasys.com/~media/Case%20Studies/Aerospace/SSYS-ACS-PiperAircraft-MetalForming-09-11.pdf>

УДК 53.084.823

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ КАСАТЕЛЬНЫХ СДВИГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК УПЛОТНЕНИЯ ГЕТЕРОФАЗНОЙ УПЛОТНЯЕМОЙ СМЕСИАлександр Анатольевич Евстигнеев⁽¹⁾, Булат Рашитович Зиннатов⁽²⁾Студент 4 курса^{(1), (2)}

кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: А.В. Кокорин

аспирант кафедры «Материаловедение и ОМД»

Предметом исследования и разработки являются технологические процессы консолидации (прессования) железосодержащих порошков с установлением эффекта межчастичного сращивания и образования ювенильного контакта при получении высокоплотных изделий с уровнем физико-механических свойств, близких к компактным материалам (материалы теоретической плотности)[1].

Исследования Бальшина М.Ю., Радомысельского И.Д., Григорьева А.К., Рудского А.И., Цеменко В.Н, Перельмана В.Е.и др. - при изучении процессов консолидации порошковых материалов; Мальцевой Т.В., Бугрова А.А., Нарбут Р.М., Сипидина В.П. , Булычева В.Г – в механике грунтов вне зависимости от некоторых частных различий, убедительно показывают, что механизм уплотнения металлических дисперсных материалов носит общий характер. В проведенных экспериментальных исследованиях использовались механические смеси: железный порошок АНС100.29; железный порошок АНС100.29 и жидкая фаза (вода) в пропорции по массовой доле (85:15), исходная влажность $W_0 = 15\%$;

Для проведения процесса прессования применялась пресс-форма с конусной рабочей полостью, размеры которой подбирались таким образом, чтобы обеспечить при уплотнении исследуемого образца следующее условие: $p_{хуз} / p_{ср} \approx 1$, где $p_{хуз}$ - прикладываемое давление в любой точке исследуемого образца; $p_{ср}$ - среднее давление уплотнения (рис. 1).

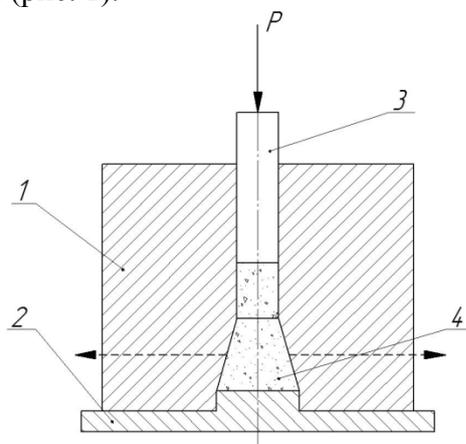


Рис. 1. Схема экспериментальной установки исследования сдвига смеси:
1 – прессформа, 2 – основание прессформы, 3 – деформирующий пуансон,
4 – прессуемый порошок

Были определены характеристики сдвиговых деформаций в частности, напряжения сдвига $\tau_{сдв}$, определяющие интенсивность уплотнения многофазной механической смеси при реализации схемы прессования с конической матрицей. Определены функциональные связи $\tau_{сдв}=f(\epsilon)$. Использование данных характеристик позволило уточнить как стадийность

процессов прессования, так и характеристики упрочнения материала матрицы- основы структуры материала. Выявленная функциональная связь позволит регламентировать энергосиловые и деформационные характеристики интенсивного уплотнения при наличии интенсивных сдвиговых деформаций.

Литература

1. Кокорин В.Н. Теория и практика прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа/ В.Н. Кокорин, А.И. Рудской, В.И. Филимонов, Е.М. Булыжев, С.Ю. Кондратьев. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 236 с.

УДК 621.762.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Никита Игоревич Жарский, Александр Владимирович Филатьев

Магистры 5 курса
кафедра «Материаловедение и строительство»
Луганский университет имени Владимира Даля

Научные руководители: Л. А. Рябичева⁽¹⁾, Д. А. Усатюк⁽²⁾

⁽¹⁾ доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и строительство»

⁽²⁾ кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и строительство»

Представлено решение одной из актуальных задач современного производства - исследование радиально-прямого выдавливания деталей с удлиненной осью и буртом (рис. 1) из порошкового материала на основе алюминия, полученного из отходов обработки алюминия первичного марки А7Е ГОСТ 11069-2001.

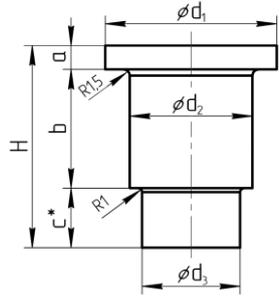


Рис. 1. Эскиз детали

Для моделирования процесса выдавливания методом конечных элементов в программе QForm разработана модель деформируемого порошкового материала на основе положений теории пластичности пористых тел с введением скоростного коэффициента и использованием кривых упрочнения порошковых материалов на основе алюминия начальной пористостью до 30 %, построенных по результатам механических испытаний на одноосное сжатие стандартных образцов. Материал заготовки вязкопластический: модуль упругости 71000 МПа, коэффициент Пуассона 0,32. Модели заготовки и инструмента представлены сетками из квадратичных элементов. Для моделирования трения использован экспоненциальный закон трения А.Н. Леванова, коэффициент трения 0,15. Начальную пористость заготовки задавали через величину относительной плотности.

В результате моделирования определены предельные отношения размеров деталей с удлиненной осью и буртом, которые могут быть получены из спеченных заготовок цилиндрической формы: $a/b = 0,2$; $b/c^* = 2$; $d_1/d_2 = 1,3$; $d_2/d_3 = 1,3$. Установлено, что уменьшение a/b при увеличении d_1/d_2 и d_2/d_3 приводит к растрескиванию бурта или незаполнению полости штампа.

При выполнении экспериментальных исследований по выдавливанию деталей с предельными отношениями размеров, заготовки цилиндрической формы диаметром 31 мм, высотой 60 мм, начальной пористостью 15 % прессовали из порошка алюминия, полученного из отходов обработки алюминия марки А7Е ГОСТ 11069-2001 двусторонним прессованием на

гидравлическом прессе. Спекание образцов после прессования осуществляли в печи муфельной лабораторной СНОЛ 7,2/1100 в контейнерах с песчаной засыпкой (состав: песок речной 80 %, стружка чугунная 20 %) по ступенчатому режиму с выдержкой 90 минут при 610 °С. Выдавливание спеченных заготовок осуществляли при температуре 400 °С на гидравлическом прессе модели ПД-476 силой 1600 кН. Исследование микроструктуры образцов на микроскопе МИМ-8 показало, что процессы формирования металлических контактов между частицами заметно интенсифицируются при 610 °С, обеспечивая получение наиболее прочного порошкового материала с пределом прочности при сжатии 670 МПа и условным пределом текучести 390 МПа.

Разработана технология, обеспечивающая получение порошковых деталей высокого качества из отходов обработки алюминия марки А7Е ГОСТ 11069-2001 и включающая следующие операции: получение порошка алюминия, двустороннее прессование цилиндрических заготовок начальной пористостью 15 %, спекание по ступенчатому режиму с выдержкой 90 минут при 610 °С, радиально-прямое выдавливание деталей из спеченных заготовок при 400 °С.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЯ ОБЪЕМА МЕТАЛЛА ЗАГОТОВОК НА СИЛУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ЗАКРЫТОЙ ШТАМПОВКЕ.

Максим Сергеевич Зародов

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: В. А. Дёмин

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением».

При закрытой штамповке максимальная сила достигается на последнем этапе - доштамповке, когда металл начинает заполнять магазин. Её величина зависит от степени заполнения магазина, то есть от объема "лишнего" металла, причем небольшому увеличению объема соответствует значительное возрастание силы.

Колебание объема неизбежно вследствие неточности разделения прутка на заготовки и назначения допуска на диаметр при изготовлении прутка. Снижение такого колебания возможно за счет увеличения точности отрезки и использования калиброванного прутка.

Еще одним способом является выбор прутка меньшего диаметра. С уменьшением диаметра уменьшается диапазон допуска и, следовательно, колебание объема и силы.

В данном исследовании на примере штамповки детали "зубчатое колесо" рассматривается алгоритм подбора диаметра заготовки, целью которого является снижение силы при доштамповке.

С помощью программного комплекса Deform было доказано, что максимальная сила может превышать минимальную в два раза, а за счет уменьшения диаметра поковки можно уменьшить колебание силы на 25 %.

Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред.Совет: *Е.И.Семенов* (пред.) и др.- М.: Машиностроение, 1985 - Т.2. Горячая объемная штамповка / Под ред. *Е.И. Семенова*.1986. 592 с., ил.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕТЯЖНЫХ РЕБЕР НА НДС ПРИ ВЫТЯЖКЕ КОРОбЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Максим Сергеевич Зародов

Студент 5 курса

кафедры «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: В. А. Дёмин

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением».

В различных отраслях машиностроения широкое распространение нашли полые изделия различной конфигурации (цилиндрического, квадратного и прямоугольного поперечных сечений), изготавливаемые методами вытяжки. Применение штампов с перетяжными ребрами позволяет получать наиболее сложные кузовные детали. Сила зажима заготовки в этих штампах регулируется количеством рядов перетяжных ребер и высотой технологической ступеньки, что ведет к повышенному расходу металла, необходимому для создания технологического припуска. Количество рядов перетяжных ребер может достигать трех. Поэтому задача сократить необходимое количество перетяжных ребер является актуальной.

В данной работе ставится задача исследовать возможность замены нескольких перетяжных ребер одним.

Цель работы: исследовать процесс перетекания металла через ребро, создание математической модели, экспериментальная проверка модели.

Порядок исследования:

1. Моделирование процесса с использованием пакета Autoform.
2. Исследование свойств материала: испытания по Эриксену, на растяжение (получение кривой упрочнения).
3. Проектирование оснастки для эксперимента.
4. Проведение эксперимента: протягивание материала через перетяжные ребра с помощью оснастки, используя разрывную машину Instron. Получение графиков сила-перемещение.
5. Обработка результатов, создание уравнения регрессии.

Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. - 6-е изд., перераб. и доп.- Л.: Машиностроение. ленингр. отд-ние, 1979.- 520 с., ил.
2. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов по специальностям "Машины и технология обработки металлов давлением" и "Обработка металлов давлением". - М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.: ил.
3. Попов Е.А. и др. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов /Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2000. 480 с., ил.
4. ГОСТ 11701-84 - Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент.

УДК 621.7.043

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ РАБОЧЕГО СТОЛА 3D ПРИНТЕРА PROJET-1200

Андрей Платонович Кайбаров

Студент 4 курса

Кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.И. Алимов

Ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

В данной работе рассматривается разработка технологического процесса изготовления рабочей платформы ProJet 1200 (

Рис. 1). Работа такого принтера осуществляется за счет нанесения фотополимерного материала слоями на рабочую поверхность стола и последующего его отверждения ультрафиолетом (рисунок 2). Большое влияние на точность изготавливаемых моделей оказывает размерная точность, параллельность плоскости рабочего стола по отношению к её креплению, а также ее плоскостность. Предложен процесс изготовления данной детали путем вырубки, гибки полки, совмещенной гибки в замкнутый контур и точечной сварки. При изготовлении возможно разрушение в зоне гибки, а также пружинение. С целью исследования данного технологического процесс было проведено полное моделирование совмещенной гибки детали в программных комплексах Autoform и Deform.



Рис. 1. Общий вид 3D-принтера ProJet 1200

Производство данной детали является мелкосерийным. Так как к детали не предъявляется больших прочностных требований материалом выбирается Сталь 08кп (относительно высокая прочность и дешевизна). По чертежу детали можно выявить следующие возможные трудности по изготовлению: получение внутреннего радиуса скругления величиной 0,5 мм, при толщине листа заготовки в 1,5 мм. Чертеж детали приведен на Рис. 3. *Чертеж детали*

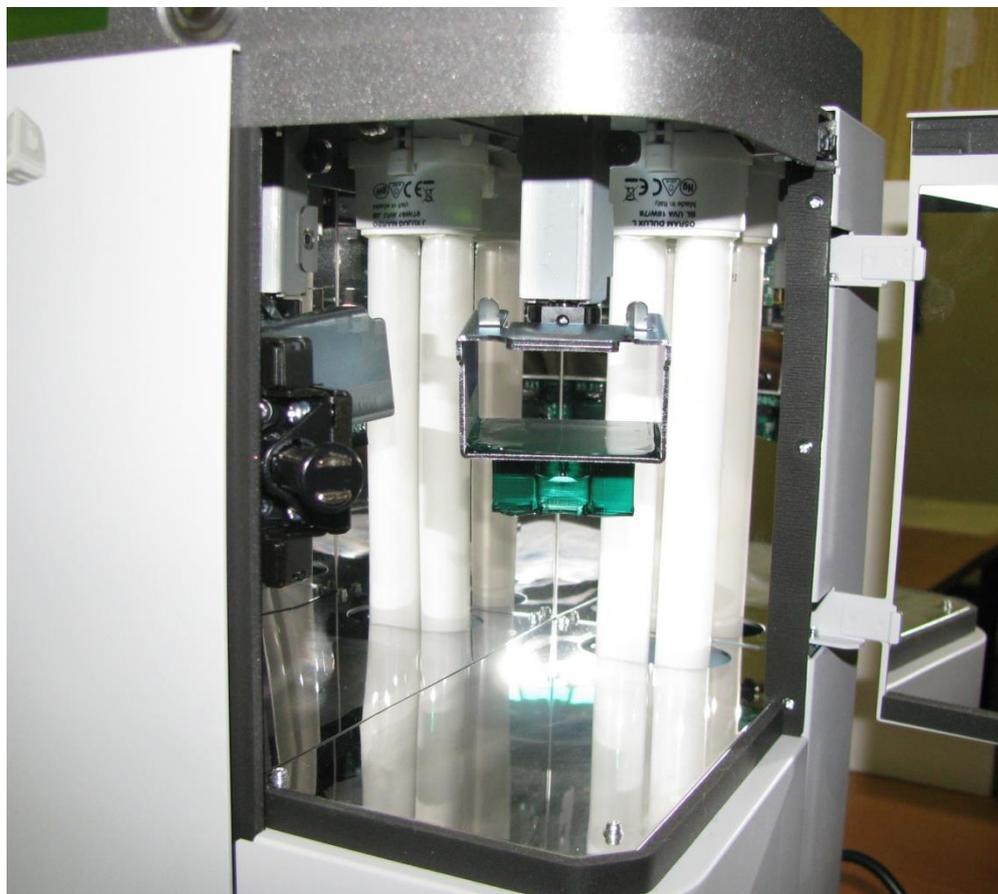
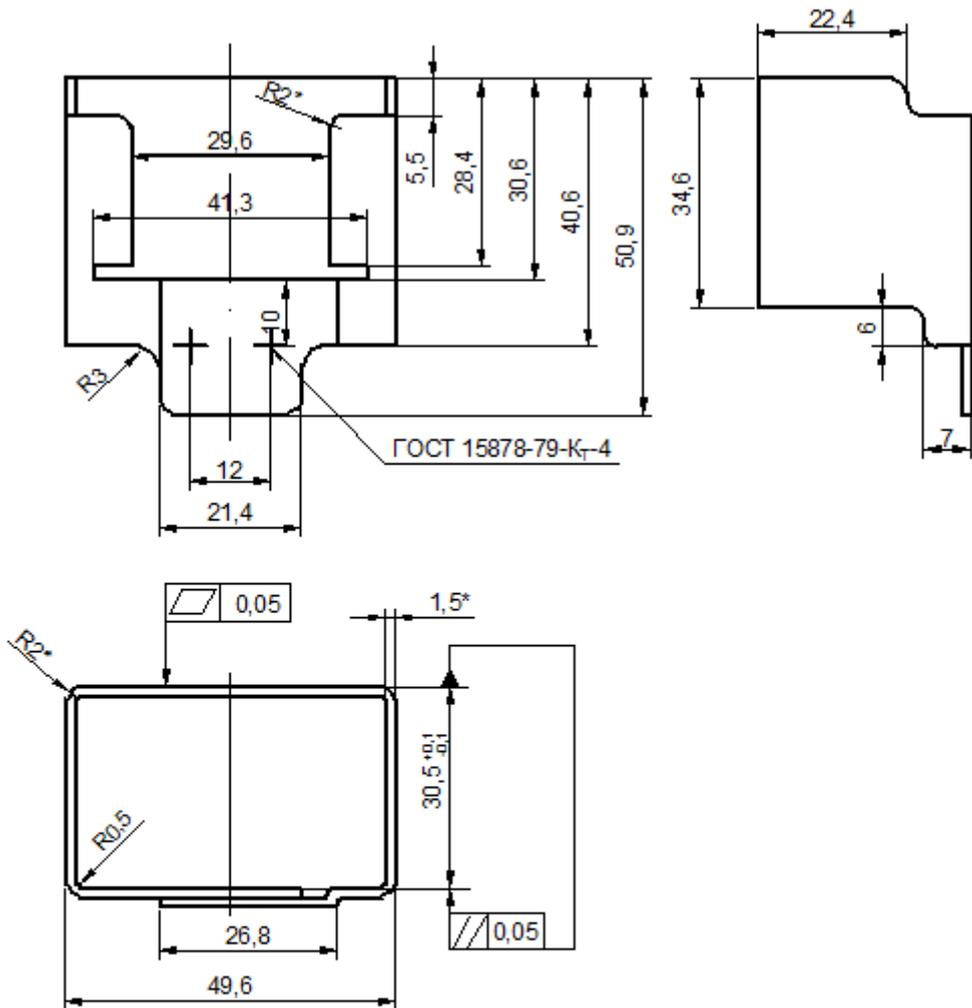


Рис. 2. Расположение рабочего стола в 3D-принтере



- 1.* - размер для справок
- 2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2-мк
- 3. Неуказанные радиусы скруглений 2 мм
- 4. Шероховатость поверхности кромок $\sqrt{Rz 20}$

Рис. 3. Чертеж детали

Литература

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
2. Справочник по холодной штамповке. – 6-е издание., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-ч т. Т.1. – 9-е изд., перераб. И доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ОДНОКОЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Дмитрий Игоревич Капкалло

*Студент 4 курса**кафедры «Технологии обработки металлов давлением»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: М.Г Алленов**ассистент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»*

Коленчатые валы находят применение там, где энергия линейного движения преобразуется во вращательное движение, а также из вращательного в линейное (насосы, компрессоры, КГШП). Таким образом, область их применения очень широка и простирается от цепных бензопил и автомобилей до дизельных генераторов и судовых двигателей.

Коленчатые валы изготавливают штамповкой, литьем и механической обработкой. Предпочтительно изготовление штамповкой, так как при механической обработке литых коленчатых валов и получении валов только механической обработкой могут образовываться опасные участки, из которых при дальнейшей работе детали могут распространяться трещины.

Наиболее распространенный метод получения штампованных коленчатых валов - двухпереходная штамповка. Основные минусы способа:

- большое количество облоя;
- необходимость обрезки облоя между переходами штамповки;

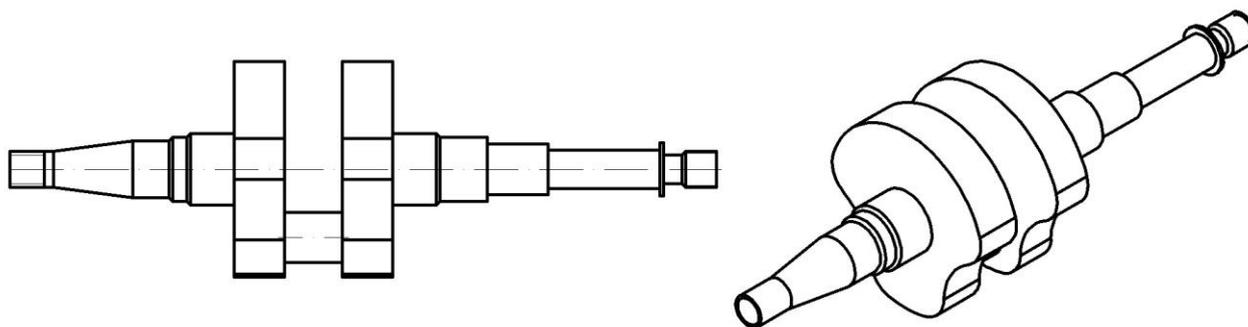


Рис. 1

В данной работе был рассмотрен способ однопереходной штамповки одноколенного коленчатого вала (рис. 1) с применением поперечно-клиновой прокатки. С помощью поперечно-клиновой прокатки мы получаем заготовку наиболее приближенную по форме и объему к окончательному ручью штампа. Вальцовка не была выбрана как способ изготовления заготовки ввиду того, что с ее помощью сложно получить заготовку с большим перепадом диаметров.

Данный способ (однопереходной штамповки, с применением поперечно-клиновой прокатки) позволяет значительно уменьшить количество облоя и исключить необходимость обрезки облоя между переходами штамповки.

Также был произведен ряд исследований в программной комплексе DeForm. Предметом исследования был подбор оптимальной заготовки, производился расчет с применением рассекателей в штампе, рассмотрены несколько типов облойных канавок и зависимость усилия штамповки от каждого типа. Был произведен анализ инструмента с целью выявления наиболее изнашиваемых частей штампа.

После проведения исследований был сконструирован блок штампа для окончательного перехода штамповки.

Литература

1. *Е.И. Семенов*, Ковка и Штамповка. Справочник в 4-х томах, 1986.
2. *В.А. Бабенко*, Ковка и Объемная штамповка стали. Справочник в 2-х томах, 1967.
3. *В.А. Бабенко*, Атлас типовых конструкций штампов, 1982. - 104с.

УДК 621.771.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦИНКОВОГО СПЛАВА ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОС

Александр Александрович Карнаух

Магистр 2 года

кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»

Московский государственный машиностроительный университет «МАМИ»

Научный руководитель: А.В. Алдунин

доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением»

В настоящее время в России и за рубежом возрастает спрос на кровельный материал из цинковых сплавов. Эти сплавы успешно прокатываются в горячем и холодном состояниях, имеют высокую антикоррозионную стойкость.

Исследования проводили для нового сплава «цинк-титан» с легирующими добавками 0,13 % Cu, 0,12 % Ti и 0,014 % Al, остальное Zn.

Для изучения влияния дробной горячей деформации на процесс формирования физико-механических свойств данного сплава при производстве полос на реверсивном стане Кварто 400/1000×1000 было выполнено физическое моделирование процесса прокатки. При этом воспроизводили температуру прокатки, относительные обжатия по проходам, среднее значение паузы между обжатиями, а также соблюдали геометрический и кинематический критерии подобия.

Карты из сплава «цинк-титан» толщиной $h_0 = 7$ мм, шириной $b_0 = 200$ мм и длиной $l_0 = 180, 120$ и 90 мм прокатывали на стане Дуо 300×450 за 1-8 проходов. Температуру начала прокатки $t_{н.п.}$ варьировали в пределах 150-270°C, паузы между обжатиями составляли 32-33 с. Контроль температуры прокатываемых карт осуществляли контактным термометром «RKC2» марки «DP 200».

Из прокатанных и охлажденных на воздухе карт вырезали продольные образцы для испытаний на растяжение по ГОСТ 1497-73.

Установлено влияние температуры начала прокатки $t_{н.п.}$ и числа проходов (суммарного относительного обжатия ε_{Σ}) на физико-механические свойства сплава «цинк-титан».

Результаты физического моделирования показали, что температура конца прокатки $t_{к.п.}$ практически не зависит от $t_{н.п.}$ и составляет 38-43°C. При повышении $t_{н.п.}$ с 150 до 270°C в первых четырех проходах конвективная теплоотдача прокатываемой карты валкам и радиационная отдача воздушной среде на много превышают тепловой эффект пластической деформации.

С повышением температуры начала прокатки возрастает интенсивность разупрочнения металла между обжатиями. Так, временное сопротивление σ_b уменьшается на 12,9-26,0 МПа, а относительное удлинение δ увеличивается на 0,4-12,0 %. Наибольшая разница механических свойств цинк-титанового сплава установлена после первых двух проходов, что можно объяснить действием разных механизмов разупрочнения в паузах между 1-м и 2-м обжатиями при разных температурах: при $t = 114-190^\circ\text{C}$ протекают возврат и полигонизация, а при $t = 212-270^\circ\text{C}$ – рекристаллизация.

При числе проходов более шести ($\varepsilon_z > 81,4\%$) наблюдается стремительное уменьшение σ_b с 290,1-299,6 до 167,2-180,1 МПа при практически неизменном δ . Это, вероятно, связано с прорывом ранее заблокированных частицами дисперсной фазы дислокаций и их выходом на границы зерен. При наличии в структуре двойников возможен и второй механизм разупрочнения – аккомодационный сброс.

С использованием пакета компьютерных программ «Статистика 6» получены регрессионные уравнения для определения временного сопротивления σ_b и относительного удлинения δ сплава «цинк-титан» в зависимости от температуры начала прокатки и суммарного относительного обжатия. Данные зависимости позволяют прогнозировать физико-механические свойства прокатываемых на реверсивном стане Кварто 400/1000×1000 полос.

Таким образом, в зависимости от требуемого комплекса механических свойств готовых полос, пластическое деформирование сплава «цинк-титан» следует производить на основе предварительного выбора температурно-деформационного режима прокатки.

Литература

1. Зисельман В.Л., Салищев В.В. Новый кровельный материал // *Металлоснабжение и сбыт.* – 1999. – № 2. – С. 44 – 45.
2. Чижигов Ю.М. Теория подобия и моделирования процессов обработки металлов давлением. – М.: *Металлургия*, 1970. – 295 с.
3. Физическое металловедение. Под ред. Р. Кана. Вып. 3. Пер. с англ. / Под ред. В.М. Розенберга. – М.: *Мир*, 1968. – 484 с.
4. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: *Металлургия*, 1979. – 495 с.

УДК 004.415.2.043

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТРИЧНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Алексей Михайлович Дюжев⁽¹⁾, Иван Сергеевич Князькин⁽²⁾

Студент 6 курса^{(1),(2)}

кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: А.В. Власов

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»;

Ю. А. Гладков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»;

А. И. Лишиний, директор ООО «КванторФорм»

Прессование сплавов на основе алюминия является одним из распространённых технологических процессов. К концу XX века оно приобрело большое значение в производстве прутков, проволоки, труб и профилей. Появление высокотехнологичных обрабатывающих центров привело к значительному скачку в области прессования изделий сложной формы благодаря упрощению процесса изготовления технологической оснастки. В процессе разработки инструментальной оснастки для прессования, современный инженер-конструктор должен разработать жёсткую и долговечную инструментальную оснастку, обеспечивающую равномерность истечения профиля, что определяет качество изделия. Однако помимо того, что проектирование формообразующих инструментов оснастки является непростым процессом, повышение требований к результатам такого проектирования, в частности, необходимость создания качественных объемных моделей вместо традиционных чертежей, сделало его действительно сложным и многовариантным.

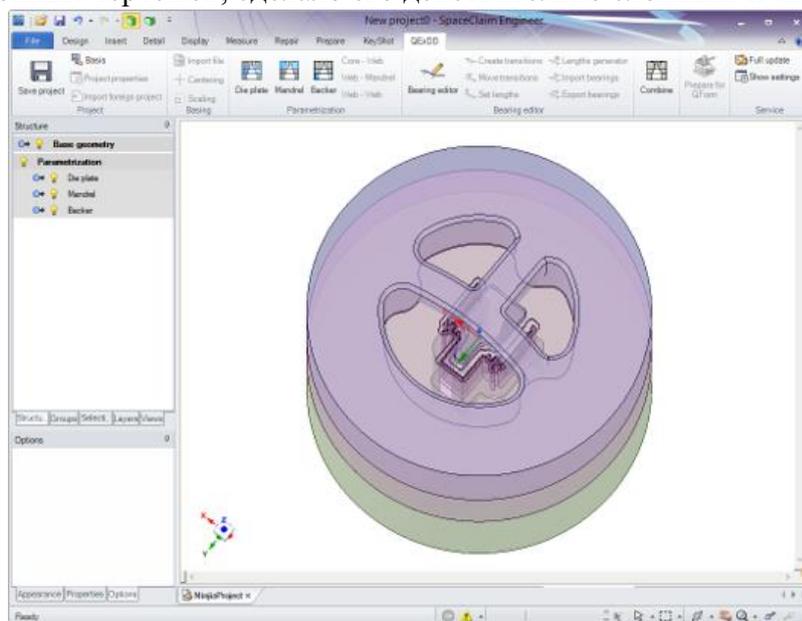


Рис. 1. Интерфейс системы QExDD

В докладе рассказывается о системе проектирования матричной оснастки QForm Extrusion Die Designer (QExDD), первая версия которой используется предприятием ООО «Сатурн» (г. Набережные Челны). В процессе создания системы была поставлена цель максимальной автоматизации процесса разработки оснастки, в том числе принятия ключевых проектных решений. Изучение подходов к проектированию оснастки привело к выбору в качестве основы дальнейшей работы многоступенчатый итерационный алгоритм работы программы в связке CAD-CAE с системой моделирования процесса прессования QForm Extrusion.

На стадии предварительного проектирования на основе исходных данных и предыдущего опыта создаётся параметрическая модель основных элементов конструкции оснастки (питателей, форкамеры, калибрующих поясков). Используемые для этого алгоритмы принимают в качестве входных только геометрические данные, в частности, контур изделия. Полученная объемная модель оснастки передается в QForm Extrusion для проведения расчёта процесса. Далее производится итерационное проектирование, состоящее, в зависимости от величины невязки обобщенных выходных данных моделирования процесса, в калибровке поясков, изменении контура и параметров форкамеры или изменении конструкции питателей. Результатом проектирования является параметрическая модель матричной оснастки, готовая к изготовлению и последующей опрессовке. Таким образом, в

выбранной схеме выделяется две группы геометрических алгоритмов: основные, базирующиеся только на геометрии проектируемого комплекта, и калибрующие – на основе данных моделирования процесса прессования.

В готовящейся к выпуску новой версии системы QExDD реализованы алгоритмы первой группы:

– Калибрующие пояски

Алгоритм построения карты поясков предполагает дискретное назначение функции ширины калибрующих поясков вдоль каждого из рабочих контуров. В качестве параметров этой функции выступают локальные геометрические (ширина профиля, расстояние до питающего канала, форма прилегающей части форкамеры и др.) и общие технологические параметры (прессуемый материал, температура прессования). Качество работы алгоритма обеспечивается калибровкой весовых коэффициентов этой функции в процессе предварительного обучения алгоритма на специальной выборке матричных комплектов.

– Форкамера

При выборе подхода к разработке методики проектировании форкамеры было принято решение посекционной разработки контура форкамеры. Это реализуется в три стадии: разделение выходного контура на зоны перехода толщины профиля, получение функции отступа контура форкамеры от контура поясков для каждой из этих зон, и последующее нормирование полученных функций отступа с условием соблюдения граничных условий на стыках зон. Коэффициенты функции отступа форкамеры вдоль пояска получают опосредованно, через пересчёт результатов проведения полного факторного эксперимента по определению зависимости скоростей течения на выходе от параметров форкамеры и калибрующего контура, основанный на условии постоянства скорости течения на выходе.

– Питатели и сварочная камера

Для предварительного создания питателей предлагается подход на основе оценки результативности параметрических шаблонов входных контуров питателей, выбираемых из подготовленной базы шаблонов с учётом технологических требований и ограничений, являющихся исходными данными для этого этапа проектирования. База составляется полуавтоматическим образом на основе ранее подготовленных матричных комплектов.

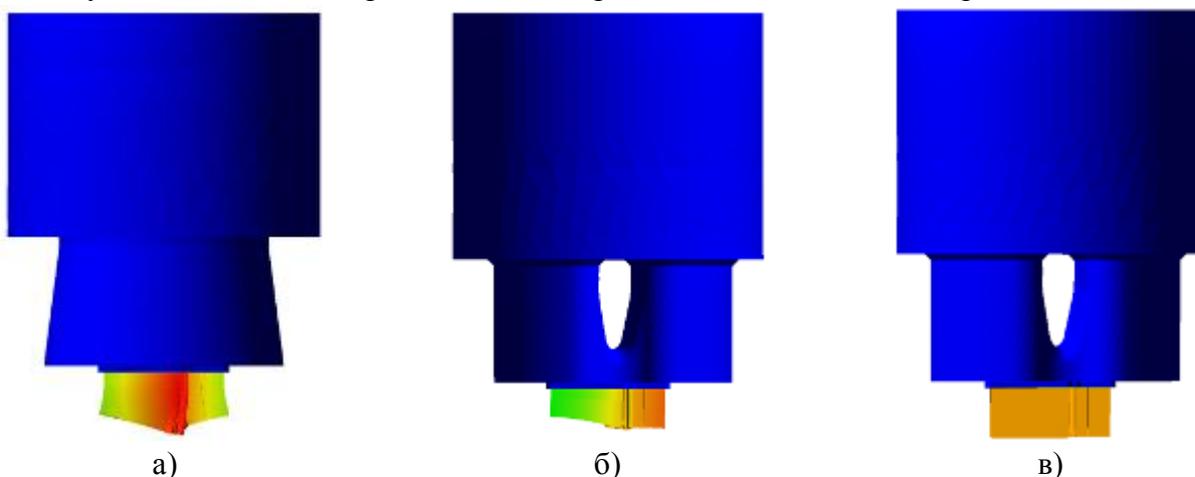


Рис. 2. Этапы оптимизации конструкции матричной оснастки. а) результат традиционного начального проектирования; б) результат применения алгоритмов начальной стадии; в) результат применения алгоритмов стадии калибровки

Литература

1. Прессование. Справочное руководство / Д-р М. Баузер, проф., д.т.н. Г. Зауер, проф., д.т.н. К. Зигерт/- Пер. с немецкого по лицензии издательства Aluminium Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, М./: «АЛЮСИЛ МВнТ», Москва, 2009.- С. 918. Рис. 651.
2. Wojciech Libura, Artur Rękas. Numerical Modelling in Designing Aluminium Extrusion, 2011
3. S. Butdee, S. Tichkiewitch. Case-Based Reasoning for Adaptive Aluminum Extrusion Die Design Together with Parameters by Neural Networks
4. Дюжев А. М., Гладков Ю. А. Разработка системы автоматизированного проектирования технологической оснастки для прессования сплавов на основе алюминия. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – № гос. регистрации 0321400749. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=112.

УДК 621.981

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГНУТОГО ПРОФИЛЯ В РОЛИКАХ ПРИ УЧЕТЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

Инна Викторовна Кокорина⁽¹⁾, Ксения Александровна Крещенова⁽²⁾

Аспирант 1 курса⁽¹⁾, студент 3 курса⁽²⁾
кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В.И. Филимонов

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и ОМД»

В последнее десятилетие быстрыми темпами растёт номенклатура гнутых профилей с элементами жёсткости, преимущественно для отраслей машиностроения и строительства. Элементы жёсткости существенно влияют на технологичность профиля – важный вопрос как для предприятий, разрабатывающих новые конструкции гнутых профилей, так и для предприятий-разработчиков технологии и эксплуатирующих организаций.

Вновь проектируемый профиль должен отвечать определённом уровню технологичности [1], составляющие которой представлены на рис. 1. Если же конструкция профиля задана и он подлежит изготовлению, то при разработке технологии следует принимать во внимание только факторы технологичности в сфере производства.

Наличие элементов жёсткости в конструкции профиля, их вид, размер и расположение на стенках или полках профиля существенно влияют на технологичность.

Для сферы производства можно успешно использовать методы технологической рационализации и технологической преемственности. Технологическая преемственность предусматривает использование процедуры приведения профиля с элементами жёсткости к типовой конфигурации профиля с гладкими полками и банка технологических решений по такой номенклатуре гнутых профилей. Технологическая рационализация может быть реализована, например, за счёт изменения конструкции профиля с сохранением его функциональности, потребительских свойств и экономических показателей производства (функциональная взаимозаменяемость) [2].

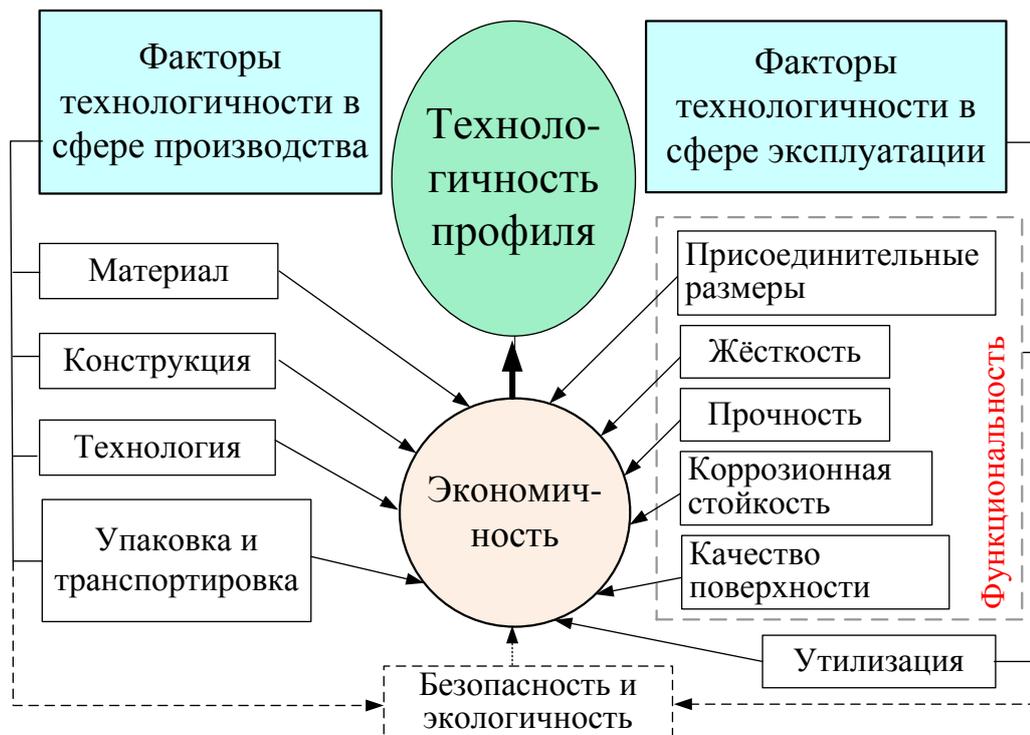


Рис. 1. Схема взаимосвязи составляющих технологичности гнутого

На стадии анализа технологичности изготовления профиля компании «Торэкс» его конструкция была изменена (рис. 2): элемент двойной толщины стал периферийным, габаритные размеры были сохранены, функциональное предназначение, включая присоединительные размеры и параметры жёсткости, были обеспечены.

При этом появилась возможность использования принципа параллельной формовки, уменьшающего число переходов и обеспечивающего более «мягкую» схему формообразования с двусторонним доступом инструмента на первых переходах и поджатием в торец [3] – на последних (рис. 3).

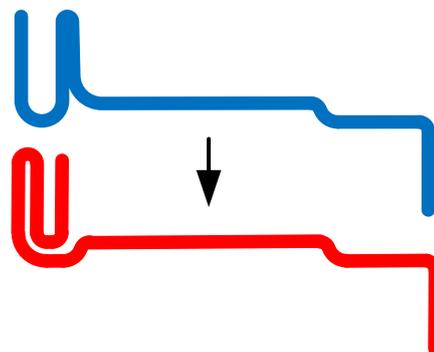


Рис. 2. Преобразование конструкции профиля для повышения технологичности его изготовления

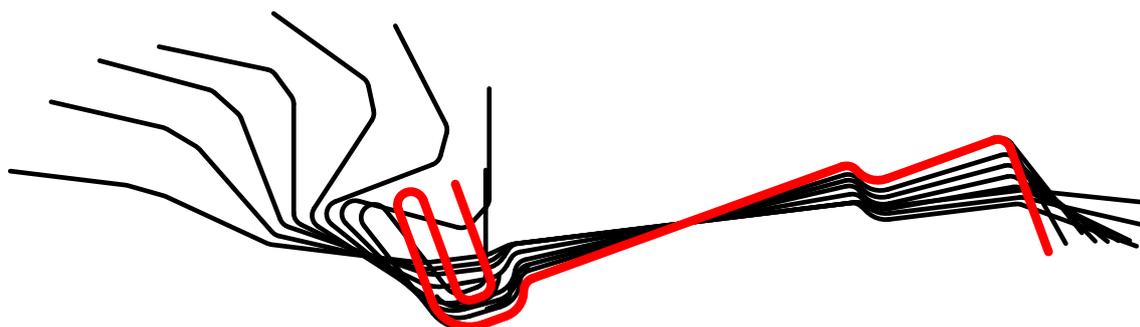


Рис. 3. Схема формообразования профиля

Литература

1. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Под ред Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
2. ГОСТ 14201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий.
3. Филимонов В.И. Моделирование торцового поджатия полки при интенсивном формообразовании профиля в роликах/ С.В. Филимонов, В.В. Левцанов, В.И.

УДК 621.77:539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО СЛОЯ В СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДЕФОРМАЦИИ

Юрий Петрович Кучковский

Студент 4 курса

*кафедра «Машины и технологии обработки материалов давлением»
Университет Машиностроения "МАМИ"*

Научный руководитель: С.А. Типалин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением»

В современных процессах листовой штамповки все шире применяется штамповка многослойных композиционных листовых материалов. Подобные материалы представляют собой сочетание металлических и полимерных слоев. Полимерные составляющие имеют упруговязкие свойства, которые способны поглощать шумовые эффекты и вибрацию.

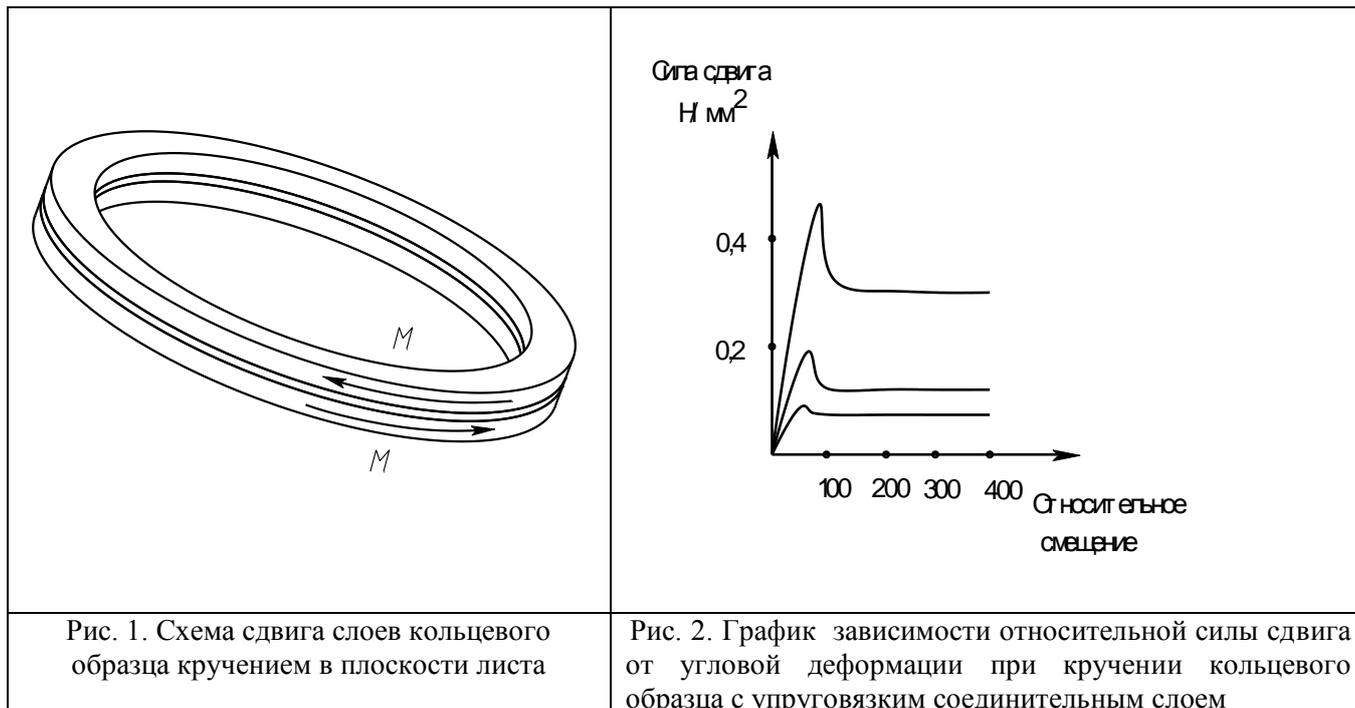
В качестве примера использования подобных материалов можно привести детали, такие как: картеры, кожухи, перегородки, капот автомобиля и др.

Технологические особенности деформирования подобных материалов вызывают существенные отличия в плане силовых составляющих и штампуемости материала. В результате деформации подобного материала может возникнуть сдвиг одного металлического слоя относительно другого [1-2]. Для выявления особенностей деформирования проведены испытания на сдвиг полимерной связующей прослойки. Традиционно подобные материалы испытывают при сдвиге металлических пластин склеенных внахлест. Такой вид испытаний используется в основном только для определения предела прочности связующего слоя. Однако, данная схема определения силы сдвига, не даёт полной картины, из-за больших смещений слоев относительно друг друга. Таким образом, наиболее целесообразно воспользоваться следующим способом определения свойств соединительного слоя материала на сдвиг [3, 4]. Чтобы предотвратить расслаивание многослойного материала при сдвиге необходимо обеспечить стабильность деформационной схемы и сохранения площади в процессе сдвига. Для этого была предложена схема деформирования кольцевого образца посредством кручения одного металлического слоя относительно другого в плоскости листа [1]. Ширина кольца выбирается по возможности минимальной, чтобы уменьшить влияние неоднородности сдвиговой деформации, из-за различия скоростей сдвига по радиусу.

Произведены опыты на кручение кольцевых образцов в плоскости листа по схеме, приведенной на рисунке 1.

Испытание образцов было проведено с различными скоростями деформации. Обобщенные результаты влияния скорости на относительную силу сдвига от угловой деформации представлены на рисунке 2. Из графиков, представленных на рисунке, видно, что

падение относительной силы сдвига (τ) происходит при различной величине сдвиговой деформации (γ).



Величина сопротивления сдвигу возрастает с увеличением скорости смещения металлических слоев. Из графиков видно, что возрастание напряжений сопротивления сдвигу происходит до определенного значения, после которого величина сдвиговых напряжений начинает падать. Это снижение обусловлено потерей адгезионного взаимодействия,

В ходе испытаний фиксировались значения крутящего момента от угла закручивания образца.

Испытания проводились при различных скоростях деформации. Средняя скорость сдвига слоев при кручении для среднего радиуса кольцевого образца в процессе испытания составляла 100, 10 и 1 мм/мин.

Как показали испытания, с увеличением скорости сдвиговой деформации возрастает сила сопротивлению сдвигу.

Литература

1. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю., Шпунькин Н.Ф. Краткий обзор многослойных листовых деформируемых материалов используемых для защиты от шума / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2., том 2 С.194-199
2. Типалин С.А.Гладков В.И., Власов А.И., Никитин М.Ю. Моделирование конструкции клапанной крышки двигателя на основе применения клеевых соединений/ Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. - М., МГТУ "МАМИ", №1 (5), 2008. С.201-206.
3. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Никитин М.Ю. Образец и способ испытания плоского клеевого слоя кольцевой формы на кручение в его плоскости / Патент РФ №2431128.от. 20.06.2011
4. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Исследование свойств многослойных листовых материалов / Заготовительные производства в машиностроении 2013 №1 С.28-31

УДК 621.7.043

ПОИСК ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «ПАТРУБОК»

Александр Владимирович Лазуткин

*Студент 4 курса**кафедра «Технологии обработки металлов давлением»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Е.Н. Складчиков**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов давлением»*

Деталь типа "Патрубок" имеет признаки конусной и коробчатой детали. В технической литературе приведены рекомендации по штамповке высоких конусных деталей и глубокой вытяжки коробчатых изделий [1],[2]. При этом рекомендации по проектированию технологических процессов штамповки деталей, обладающих признаками обоих типов практически отсутствуют.

При выборе технологического процесса штамповки детали типа "Патрубок" было рассмотрено 6 вариантов техпроцессов. При этом критериями выбора того или иного технологического решения являлись отсутствие разрыва, образования складок, сокращение расхода материала.

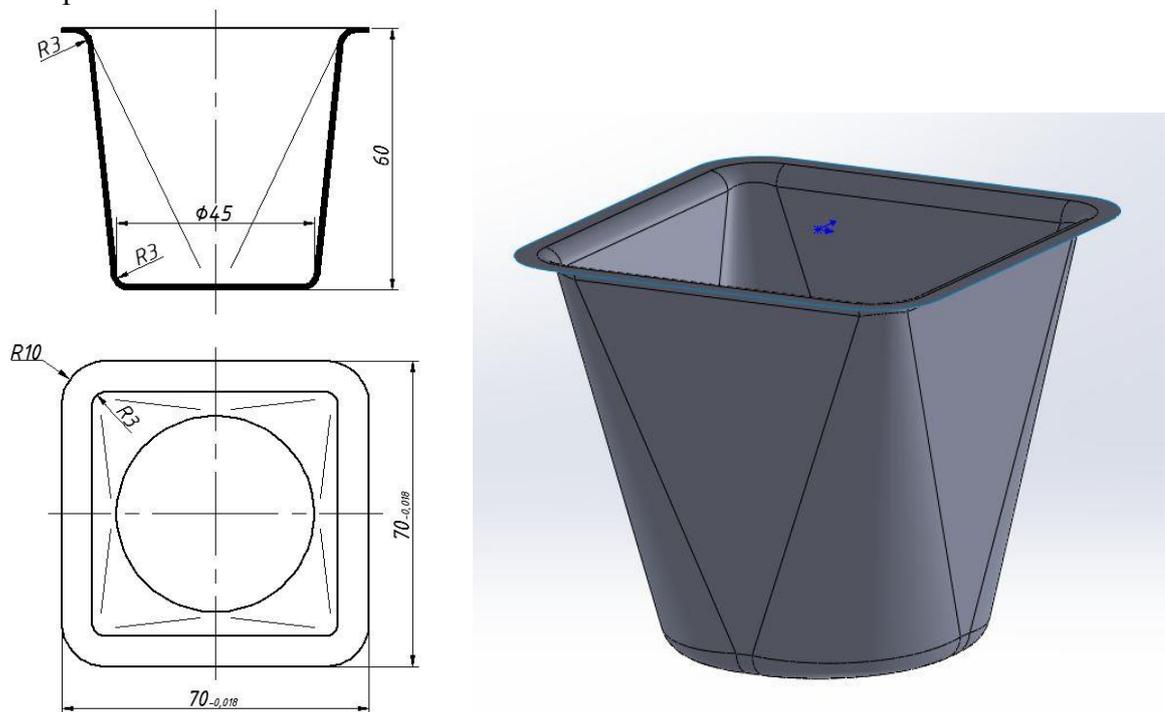


Рис.1. "Патрубок"

В ходе рассмотрения вариантов изготовления детали был проведен ряд исследований, которые проходили в несколько этапов и освещают такие вопросы, как:

- расчет размеров и определение оптимальной геометрической формы заготовки
- возможность штамповки детали за один переход
- влияние коэффициента трения на процесс штамповки
- влияние силы прижима на процесс складкообразования
- рациональность применения вытяжных ребер.

Исследования были проведены в программном комплексе Autoform^{plus} R5.1.

Чертеж и трехмерная модель детали "Патрубок" из стали 08кп представлены на рис.1.

Литература:

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке /В.П. Романовский – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общей редакцией Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

УДК 621.77:539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКАТКИ ПОКОВКИ КОЛЬЦА ПОДШИПНИКА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ QFORM 7

Александр Павлович Морозов

Студент 6 курса

Кафедра «Технологии обработки давлением»

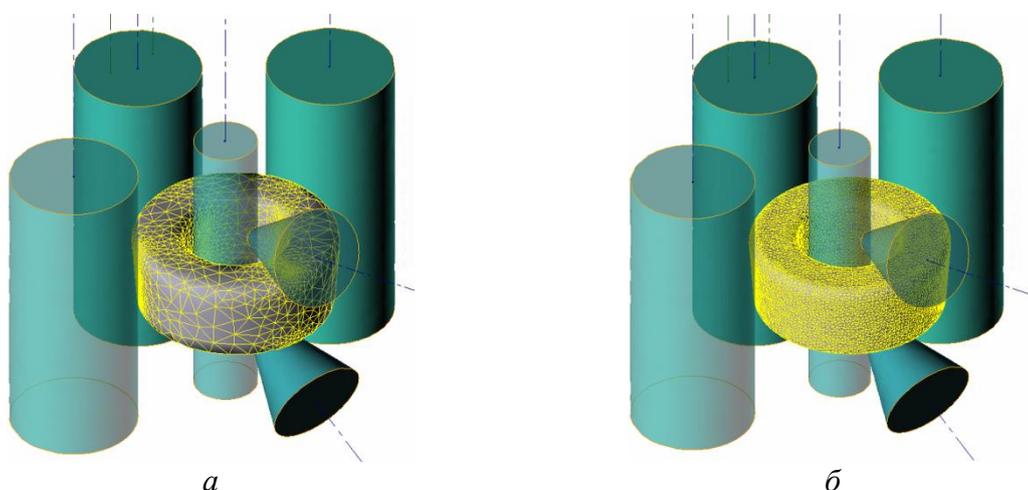
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Белокуров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

В работе выполнено моделирование операции раскатки поковки наружного кольца подшипника 32160 в QForm 7 с использованием отдельного модуля со специальным расчетом. Показан алгоритм ввода исходных данных и расчета в модуле на раскатке колец.

Применение стандартного алгоритма QForm для моделирования раскатки требует много времени для более точного расчета. Чтобы избежать потерь времени и получить более достоверные результаты необходимо использовать специальный модуль ALE – расчет, который использует одновременно две сетки: расчетную и геометрическую. На основе расчетной сетки создается матрица жесткости и решается система уравнений пластического течения. Геометрическая сетка содержит расчетную информацию о термомеханических полях, получаемых в процессе расчета, и описывает геометрию деформируемого тела. Конечно-элементная сетка показана на рис. 1.



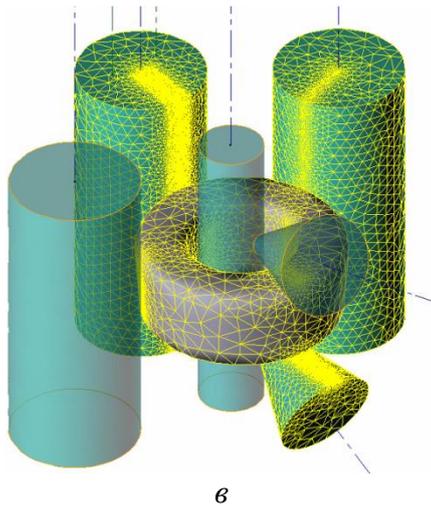


Рис. 1. Конечно-элементная сетка:
а - расчетная сетка; б – геометрическая сетка;
в – сетка инструментов

Моделирование проводили для радиально-аксиальной раскатки, схема которой приведена на рис. 2.

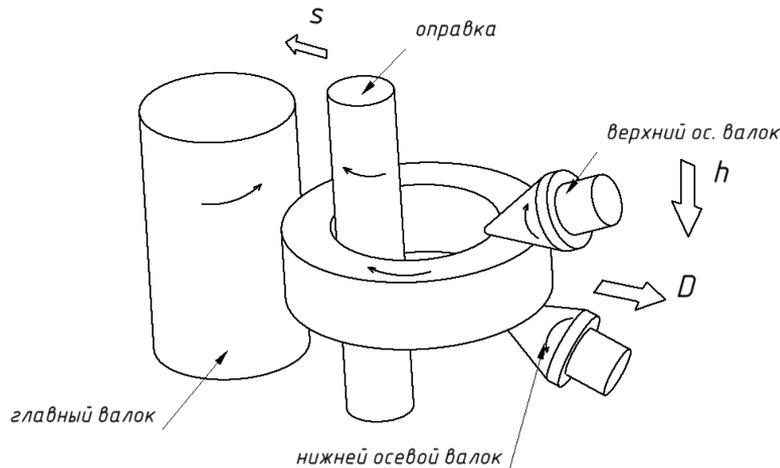


Рис. 2. Схема радиально-аксиальной раскатки

Для расчета вводили исходные данные: скорость главного валка [мм/с], максимальный конечный диаметр [мм], усилие центрующего валка [МН], скорость роста диаметра, зависимость высоты от толщины. Скорость валка и диаметр задаем таблично, а вот скорость роста и зависимость высоты от толщины – графически. При неправильно заданных исходных данных конечная поковка получается неправильной геометрической формы или бракованной. Во время процесса раскатки получены следующие дефекты:

- продолговатая форма (из-за большого усилия центрующих валков и неправильно заданной скорости роста диаметра);
- углубление аксиального валка в металл (из-за низкой скорости главного валка и неправильно заданной зависимости высоты от толщины).

В результате моделирования были получены оптимальные технологические параметры, которые позволяют получить заданную геометрическую поковку внешнего кольца подшипника.

УДК 621.7.043

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛА НА ПРИГОДНОСТЬ К ГИБКЕ
ДЕТАЛИ ТИПА КОЛЬЦО**

Иван Анатольевич Назаренко

*Студент 4 курса**кафедра «Технологии обработки металлов давлением»**Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана**Научный руководитель: В.А.Демин**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов давлением»*

Основной задачей инженера-технолога на первоначальном этапе разработки технологического процесса изготовления детали является установление возможности штамповки детали такого вида из заданного материала.

В случае гибки листового материала рассматривается испытание на изгиб по ГОСТ 14019-2003 «Метод испытания на изгиб». Этот стандарт позволяет определить способность металлических материалов выдерживать пластическую деформацию при изгибе.

Сущность метода испытания заключается в пластической деформации образца путем изгиба без изменения направления действия силы до достижения заданного угла изгиба. Оси двух опор при изгибе образца должны оставаться в плоскости перпендикулярной к направлению действия силы.

Моделирование испытания проведено на изгибающем устройстве с V-образной выемкой и оправкой. Наклонные плоскости V-образной выемкой образует угол $180^\circ - \alpha$. Величина α устанавливается нормативными документами на продукцию. Кромки V-образной выемки должны иметь радиус закругления, в 1-10 раз превышающий толщину образца, и должны быть достаточно твердыми. Рабочие поверхности изгибающего устройства с V-образной выемкой не должны иметь смятия. Твердость указанных поверхностей должна быть не менее 50 HRC.

Ориентировочную длину образца L , мм, определяют по формуле:

$$L = 2(a + D) + K$$

a - толщина образца, мм

D - диаметр оправки, мм

K - коэффициент, равный 100-150 мм.

В данном исследовании длина образца совпадает с величиной заготовки для изготовления кольца диаметром 35 мм.

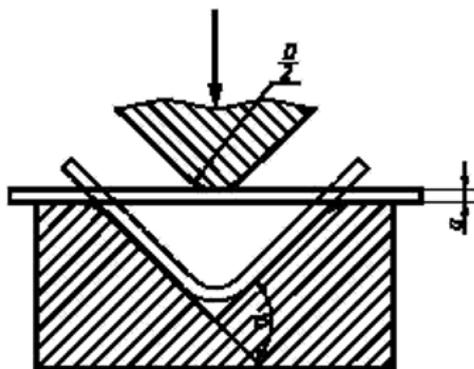


Рис. 1. Изгибающее устройство с V-образной выемкой

Таблица 1. Условные обозначения.

Обозначение	Наименование параметра
a	Толщина образца, мм
D	Диаметр оправки, мм
α	Угол изгиба, градус

Моделирования в программном комплексе AutoForm 5.1 выполним на трех марках стали и трех углах изгиба, для каждой марки соответственно.

Результаты испытания на изгиб оценивают в соответствии с нормативными документами на металлопродукцию. Если такие указания отсутствуют, то отсутствие трещин, видимых невооруженным глазом, служат доказательством того, что образец выдержал испытание на изгиб. Угол изгиба, указанный в нормативных документах на металлопродукцию, всегда считается минимальным. Если указывают внутренний радиус изгиба, то он всегда считается максимальным.

Литература

1. *ГОСТ 14019-2003* Материалы металлические. Метод испытания на изгиб.

УДК 67.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ И ШТАМПОВКИ ОДНОКОЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Екатерина Михайловна Никитина

Студент 5 курса

кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.Г. Алленов

аспирант кафедры «Оборудование и технологии обработки давлением»

В данной работе рассмотрен технологический процесс горячей объемной штамповки одноколенного коленчатого вала. На основании предварительных расчетов и исследований течения металла при штамповке коленчатого вала было принято решение произвести предварительную операцию поперечно-клиновой прокатки (ПКП).

ПКП является одним из наиболее экономичных и производительных способов изготовления ступенчатых валов с различной конфигурацией ступеней. Коэффициент использования металла близок к единице, а точность сопоставима с токарной обработкой. На основе эпюры сечений и, далее, эпюры диаметров была получена необходимая геометрия заготовки, которую нужно получить с помощью ПКП.

При моделировании было рассмотрено множество различных вариантов данного технологического процесса. В первую очередь рассматривался вариант изготовления детали из заготовок более простой формы. Но результаты моделирования показали преимущество и необходимость изготовления детали из точно рассчитанной поковки.

Также в процессе исследования было выявлено положительное влияние процесса поперечно-клиновой прокатки на структуру металла в уже готовой детали. Из чего был сделан вывод, что поперечно клиновая прокатка является методом, с помощью которого можно получить однородную волокнистую структуру металла, обеспечить его «почти

радиальное» течение, что в итоге позволит избежать дефектов и увеличить срок службы изделия.

Построение эпюры сечений производилось с помощью САПР Autodesk Inventor 2014, а моделирование процессов ПКП и ГОШ коленчатого вала – в программном комплексе QForm 7.

Литература

1. Под редакцией *Семенова Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник. В четырех томах, Т.1, М. Машиностроение, 1985г.
2. Под редакцией *Семенова Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник. В четырех томах, Т.2, М. Машиностроение, 1985г.
3. Курс лекций по ГОШ МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕРАВНОМЕРНОЙ ОТБОРТОВКИ ИЗ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Вадим Владимирович Панферов

Студент 4 курса

кафедра «МиТОМД»

Университет машиностроения "МАМИ"

Научный руководитель: С.А. Типалин

кандидат технических наук, доцент кафедры «МиТОМД»

Одним из решений проблемы получения надежного покрытия для временных площадок является применение универсальной плитки из листового металла. Данная плитка может соединяться с аналогичной плиткой, создавая единую конструкцию. Подобная конструкция выполняет роль временного, либо постоянного дорожного покрытия для передвижения по нему пешеходов и легковых транспортных средств. Преимущество этого способа заключается в скорости и лёгкости сооружения покрытия, низкой массе конструкции и способе соединения между собой единичных элементов конструкции. Универсальность такой плитки обуславливается широкой областью её применения – производство, строительство, культмассовые мероприятия и др.

Рассматриваемая деталь представляет собой изделие прямоугольной формы с загнутыми вниз краями и надрезанными отверстиями на плоскости всей заготовки. Внутри предполагаемого отверстия делается надрез, послед чего деталь подвергается операции отбортовки. Надрезанные, а не пробитые отверстия позволяют, с помощью загнутой вниз части металла, зафиксироваться на той или иной поверхности, а отбортовка отверстий повысить жёсткость всей конструкции.

В работе использовались следующие программные продукты:

1) T-Flex CAD 3D v12.0.62.0

2) AutoForm⁺ R5 v1.0

В результате использования компьютерного моделирования удалось подобрать оптимальные параметры для формоизменения штампуемых деталей, не изготавливая экспериментальную оснастку.

УДК 53.084.823

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ПОКОВКИ ДЕТАЛИ «МОНОРЕГУЛЯТОРА»

Евгений Владимирович Петрунин

Студент 6 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.А. Белокуров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

В работе проведено исследование технологического процесса штамповки поковки детали «монорегулятор» на горячештамповочном автомате в программном комплексе QForm7 с целью анализа причины выхода из строя инструмента, и появления дефектов штамповки.

Деталь применяется для регулирования и фиксации усилия прижатия пружинной клеммы APC в анкерной железобетонной шпале типа ШС-АР. Два эксцентриковых монорегулятора обеспечивают необходимую величину прижатия пружинной клеммы к подошве рельса. Каждый из монорегуляторов в центральной (монтажной) части имеет правильный шестигранник, предназначенный для поворота эксцентрика гаечным ключом с удлиненной рукояткой (длиной 1 - 1,2 м).

Для крепления рельс к 1 шпале требуется 4 монорегулятора, следовательно, поковка детали «Монорегулятор» (рис. 1) является поковкой массового производства, штампуется на горячештамповочном автомате А0334, без облоя, с производительностью 80...100шт в минуту.

При штамповке данной поковки возникают следующие дефекты (рис. 2):

- незаполнение полостей штампа;
- образование заусенцев;
- выход из строя пуансона после штамповки 10-20 деталей;

В работе отражен процесс поиска конструктивных решений и моделирование вариантов штамповки данной поковки в программном комплексе QForm 7.

Работа является исследовательской. Выполнено моделирование технологического процесса штамповки поковки в программном комплексе QForm 7 по технологии, предложенной на заводе. Полученные результаты моделирования заводской технологии выявили качественную повторяемость результатов с опытным образцом.

В результате моделирования выявлены причины возникновения дефектов, исходя из которых, предложены конструкторские решения по технологическому процессу штамповки поковки детали «монорегулятор».

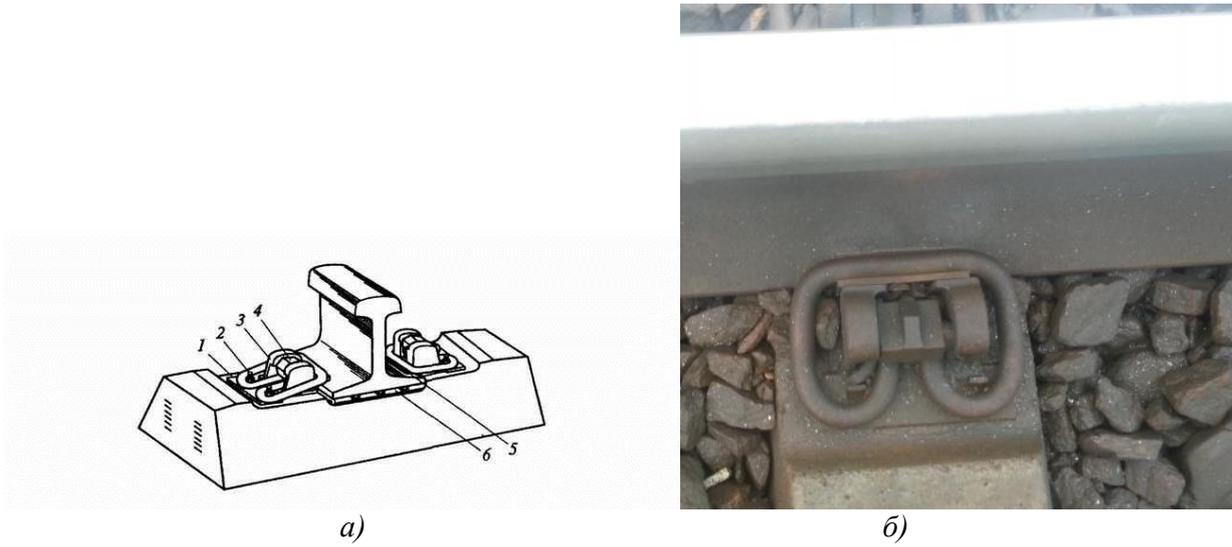


Рис.1. Поковка детали монорегулятора: *а* – схема крепления; *б* – фотография детали

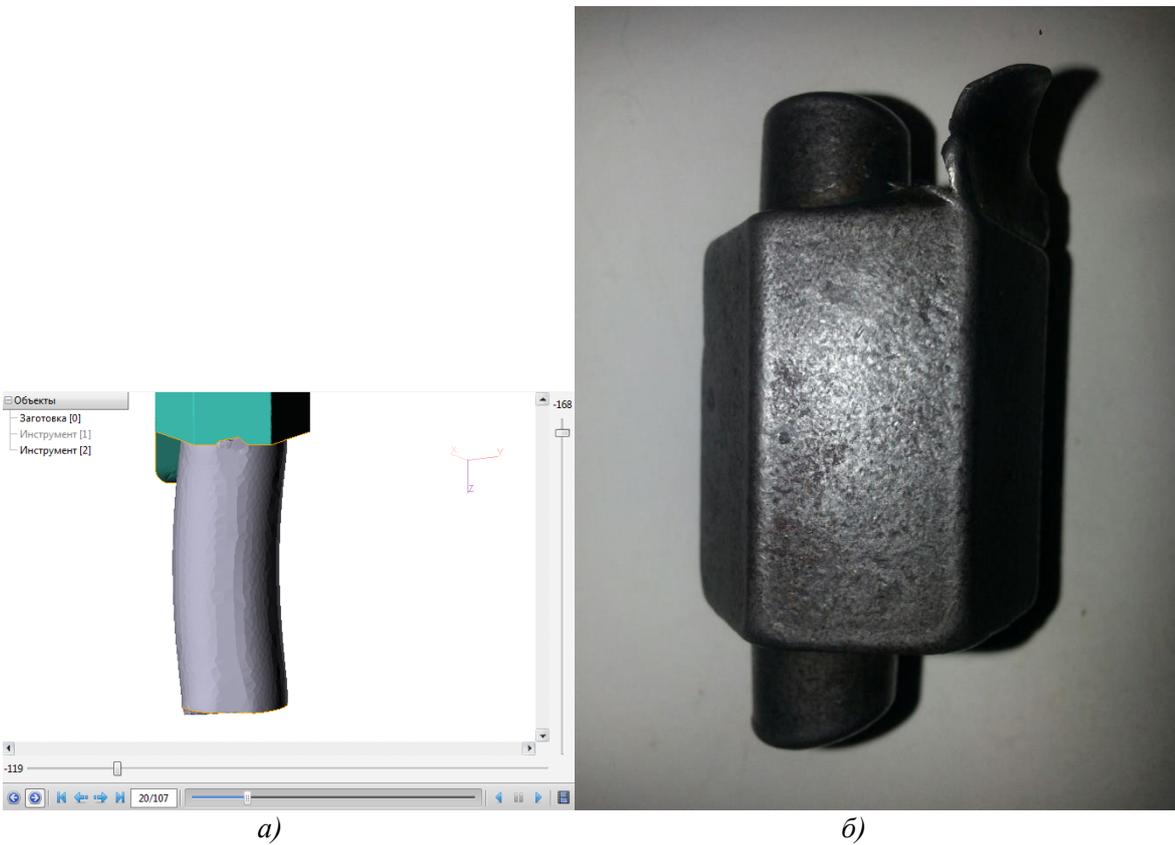


Рис.2. Дефекты поковки детали «Монорегулятора»: *а* – результат моделирования дефекта; *б* – фотография дефекта детали

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ШТАМПОВКИ ПРЯМОЗУБОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА БЕЗ ШТАМПОВОЧНОГО УКЛОНА

Иван Андреевич Попов

*Студент 6 курса**Кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Евсюков Сергей Александрович**доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технологии обработки давлением»,*

При горячей объёмной штамповке назначают припуски и штамповочные уклоны, которые облегчают извлечение поковки из ручья штампа.

В работе представлен метод, значительно повышающий коэффициент использования металла, при штамповке прямозубого зубчатого колеса, и сокращающий объем последующей механической обработки, за счет получения зубчатой части поковки с наклонным боковым профилем, с последующим выпрямлением этого профиля (рис. 1).

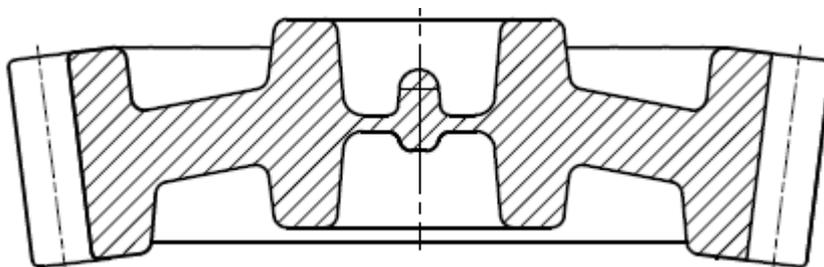


Рис. 1. Эскиз поковки второго перехода штамповки

Этот метод состоит в применении четырех переходов штамповки. На первом производится предварительное формоизменение поковки; на втором производится штамповка поковки специальной формы (см. Рис. 1), в которой наклонённая боковая поверхность каждого зуба совпадает со штамповочным уклоном; на третьем переходе поковки выпрямляется на плоских бойках (см. Рис. 2); четвёртый - пробивка отверстия ступицы.

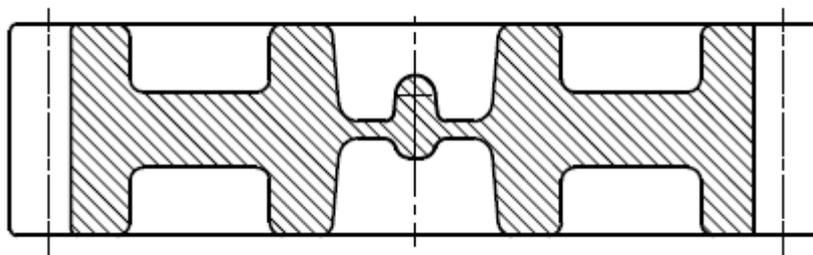


Рис. 2. Эскиз поковки третьего перехода штамповки

Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4х т./Ред. Совет: *Е.И. Семенов* (пред.) и др – М.:Машиностроение,1985 – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка/ под ред. *Е.И. Семенова* 1985. 568 с.

2. *Бойцов В. В.* Объемная штамповка. Атлас схем и типовых конструкций штампов. *В. В. Бойцов* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1982. –104 с.
3. АСКОН Справочник конструктора

УДК 621.983

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ ТИПА "КРЫШКА"

Алексей Дмитриевич Пташинский

Студент 4 курса

кафедра «Технологии обработки металлов давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Я.Дмитриева

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»

Объектом исследования являются операции вытяжки и отбортовки, получаемые при технологическом процессе изготовления детали типа «Крышка». В работе требуется найти такое сочетание коэффициентов вытяжки и от бортовки, которые позволят снизить необходимую для изготовления детали нагрузку без образования дефектов производства [1].

Базовый технологический процесс состоит из следующих операций: после вырубki заготовки из ленты следует вытяжка цилиндрической и конусной частью, а также второй цилиндрической части, следующей после конической. Далее следует обрезка, совмещенная с вырубкой, и отбортовка.

Процессы вытяжки и от бортовки зависят от многих параметров, например, высота вытяжки или высота борта при отбортовки. В данной работе были подобраны такие параметры, которые позволяют снизить нагрузку и получить необходимую высоту борта, что соответственно уменьшает нагрузку прессы при изготовлении данной детали и уменьшает износ прессы [2].

При исследовании операций вытяжки и отбортовки были созданы модели технологического процесса в программном комплексе Autoform R5. В результате моделирования были получены FLD-диаграммы, которые показывают вероятности возникновения дефектов, таких как складкообразование, разрыв и других на определенном этапе производства [3].

В ходе работы было проведено сравнение результатов моделирования, а именно полученных FLD-диаграмм, и были получены параметры, которые позволяют снизить нагрузку при операциях вытяжки и отбортовки.

Литература

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. *Л.И. Рудмана*. – М.; Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
2. *Романовский В. П.* Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. И доп. – Л.; Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.; ил.
3. Журнал «КомпьюАрт» *Д.В.Бузлаев, А.Н.Антонец, В.В.Калаев, А.В.Ряснянский.* «Новые методы оценки устойчивости и производительности технологических процессов».

УДК 621.7.043

ВЫТЯЖКА ДЕТАЛЕЙ С НАКЛОННЫМ ФЛАНЦЕМ

Елена Александровна Рукавичко

Студент 4 курса

Кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: В.А.Кривошеин

Доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

В работе рассмотрен процесс вытяжки детали типа «Крышка» с наклонным фланцем. Процесс вытяжки деталей такого типа не рассмотрен в литературе по обработке металлов давлением, нет рекомендаций по выбору формы исходной заготовки и предельном коэффициенте формоизменения. Поэтому исследование этого процесса представляет определенный научный интерес и имеет практическое применение в производстве. Чертеж детали представлен на Рис. 1.

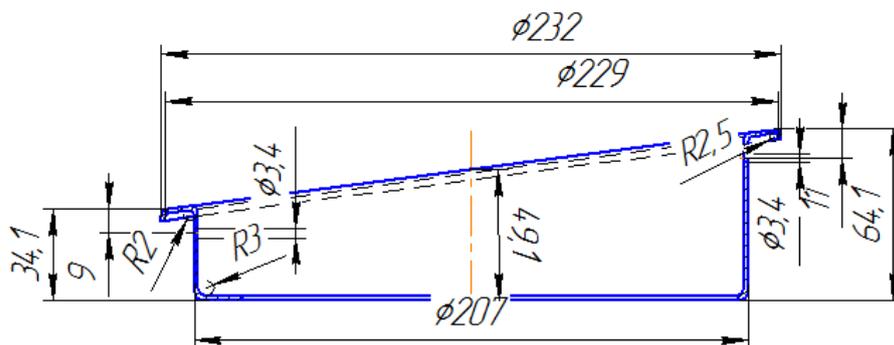


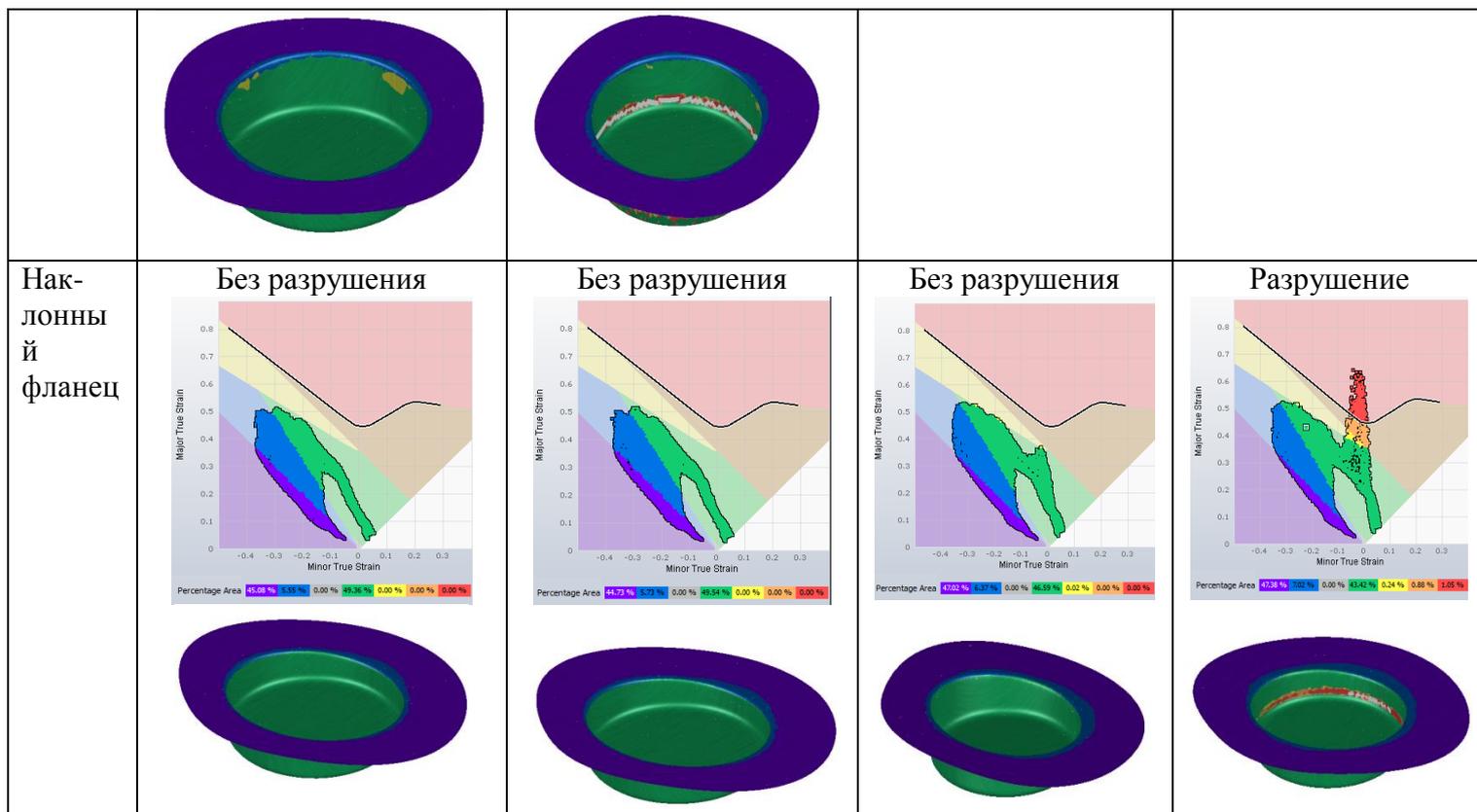
Рис. 1. Чертеж детали

Так как деталь не симметричная, то круглую заготовку использовать не целесообразно, из-за большого отхода на обрезку со стороны наименьшей высоты детали. Рассматриваем круглую и полученную с помощью расчетов заготовку, и определяем заготовку с наибольшим коэффициентом использования материала.

В программном комплексе Autoform было проведено моделирование нескольких вариантов вытяжки детали с наклонным и плоским фланцем. В Таблице 1 приведены FLD-диаграммы и поля штампуемости деталей, для различных коэффициентов вытяжки. Заготовки для данного исследования выбираются круглой формой.

Таблица 1. Варианты вытяжки детали с наклонным и плоским фланцами

m	0,54	0,536	0,517	0,513
Плоский фланец	<p>Вход в зону риска</p> <p>Percentage Area: 72.44% 4.74% 0.00% 14.63% 1.22% 0.00% 0.00%</p>	<p>Разрушение</p> <p>Percentage Area: 47.15% 4.65% 0.00% 39.52% 0.35% 0.30% 1.02%</p>	-	-



Как видно по Таблице 1 на FLD- диаграмме для $m=0,54$ (предельный коэффициент по [2]) при вытяжке детали с плоским фланцем возникает вероятность разрушения. При уменьшении коэффициента вытяжки до $m=0,536$ в детали происходит отрыв дна, а у детали с наклонным фланцем при этом коэффициенте процесс вытяжки протекает без разрушения. Промоделировав еще несколько вариантов, определяем предельный коэффициент вытяжки для детали с наклонным фланцем, который составляет $m=0,513$. В итоге, за счет локализации очага пластических деформаций, предельный коэффициент вытяжки для деталей с наклонным фланцем меньше на 4%.

Выводы:

При вытяжке деталей с наклонным фланцем можно повысить коэффициент использования материала путем расчета формы заготовки. КИМ для расчетной заготовки составляет 50%, а для круглой заготовки 44%.

Вытяжка с наклонным фланцем позволяет увеличить степень формоизменения за счет локализации очага пластической деформации на начальном этапе деформирования. Для рассмотренной детали с наклонным фланцем предельный коэффициент вытяжки составил $m=0,513$, с плоским $m=0,536$.

Литература

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
2. Справочник по холодной штамповке/Под общ. ред. Романовский В.П. М.: Издательство «Машиностроение» 1979г.
3. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов/ Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин, М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 480с., ил.
4. Ершов В.И, Глазков В.И, Каширин М.Ф. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.

5. *Кривошеин В.А.* Интенсификация процесса обжима посредством выбора геометрии поверхности контакта заготовки с матрицей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – № 6. – С. 15–18.

УДК 621.7.043

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ "КОРПУС ФИЛЬТРА" НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ПРЕССЕ

Рахмет Рашидович Сайтов

студент 4 курса

*кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

Научный руководитель: А. В. Власов, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением»

В работе исследован технологический процесс однопереходной горячей объемной штамповки из латуни ЛС59-1 "Корпуса фильтра 1/2" (рис. 1) с образованием внутренних полостей на специализированном кривошипном прессе. Латунь является наиболее предпочтительным материалом при производстве корпусов кранов, смесителей и другой запорной арматуры малых диаметров с рабочими средами, такими как вода, пар, топливный газ. Изготовление корпусов методами горячей объемной штамповки гарантирует отсутствие газовых раковин и других дефектов, которые могут привести к снижению срока службы деталей и их аварийному выходу из строя.

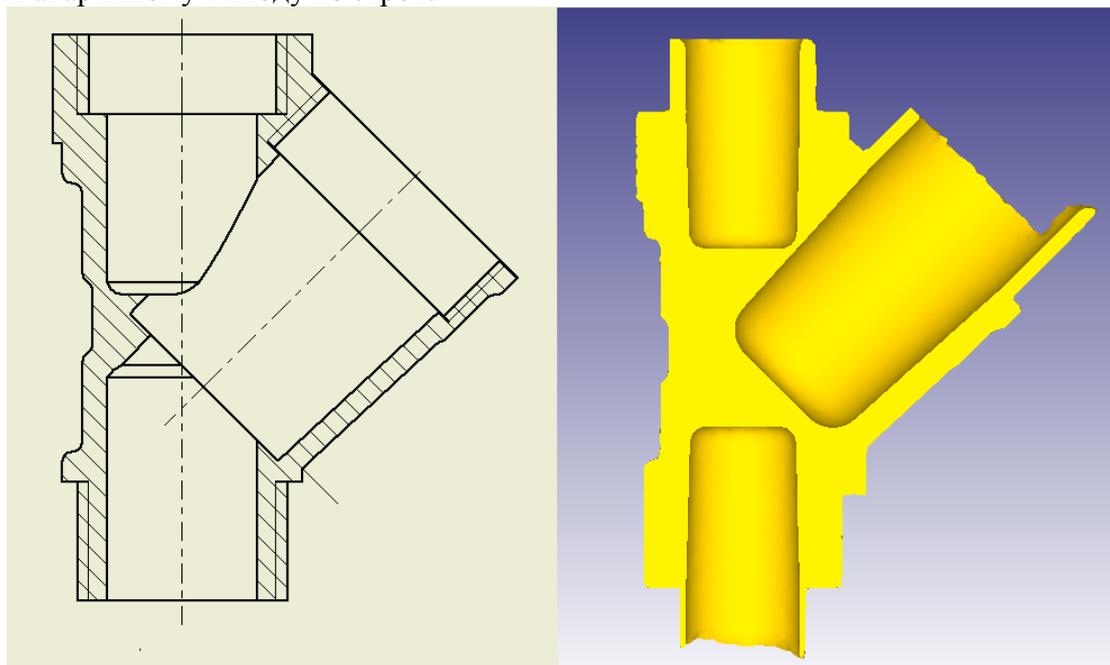


Рис. 1. Чертеж детали "Корпус фильтра" и Заготовка после штамповки

Производство корпусов фильтра носит массовый характер и связано с очень большим расходом металла. Для улучшения экономических показателей производства, снижения себестоимости деталей и уменьшения объемов механической обработки деталей при штамповке применяют специальное оборудование, позволяющее выполнять прошивку полостей. Использование гидравлических прессов с несколькими направлениями движения инструмента

ограничено, так как они отличаются меньшей быстроходностью по сравнению с кривошипными машинами. Для штамповки деталей с полостями на кривошипных прессах используют дополнительные суб-прессы, которые позволяют выполнять прошивку детали в различных направлениях. В работе была исследована зависимость перемещения боковых пуансонов от перемещения главного ползуна, которая в дальнейшем использована при моделировании процесса в программном комплексе DEFORM.

Также в работе исследовано заполнение штампа с учетом возможных отклонений размеров заготовки, определены геометрические параметры формообразующего инструмента, обоснован выбор исходной заготовки.

Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./под ред. *Е. И. Семенова*. Т. 2. Горячая штамповка. – М.: Машиностроение, 1986.
2. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений / *Ю. А. Бочаров*. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.

УДК 620.172.21

ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ РАЗМЕРОВ В ТЕСТЕ НА ФОРМУЕМОСТЬ С ПОМОЩЬЮ КРЕСТООБРАЗНОЙ МАТРИЦЫ.

Анна Николаевна Селянина

Студентка 5 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: А. В. Власов

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением».

Формоизменение листового металла предполагает сложное распределение деформаций по детали. Деформации происходят из-за растяжения, сжатия или комбинации и того, и другого.

Деформации, которые действуют в области растяжения-сжатия, трудно охарактеризовать, и сегодня кривая предельного формоизменения (FLC-forming limit curve) в основном базируется на экстраполяции данных. Неправильные значения пределов временного сопротивления материалов, полученные в результате экстраполяции, могут привести к неправильной интерпретации результатов в моделировании с помощью конечных элементов (FE-моделировании).

Для того, чтобы лучше изучить закономерности деформации разных материалов, был разработана матрица новой геометрии – крестообразная матрица.

Corus Research, Development & Technology (CRDT) провела тест крестообразного штампа. Несмотря на то, что тест по-прежнему имитационный, он тем не менее отображает настоящий процесс листовой формовки лучше, чем обычные тесты на глубокую вытяжку с круглыми или квадратными вырезами, поскольку он представляет множество различных формовочных моделей. Данный тест используется для того, чтобы классифицировать материалы с точки зрения формуемости.

Главной целью разработки крестообразного штампа было увеличение понимания поведения деформации на основе экспериментальных результатов в области сжатия-растяжения и соответствующее уменьшение зависимости от экстраполированных данных в определении

кривой предельного формоизменения. Более того, помимо улучшенной точности в определении кривой предельного формоизменения, достигаются улучшения результатов моделирования с помощью конечных элементов.

Для повторения испытаний на гидравлическом прессе Instron была спроектирована оснастка с уменьшенными размерами крестообразной матрицы в отличие от исходной в тесте.

Было проведено моделирование в программном комплексе Autoform с новой геометрией инструмента. Исследованы свойства материалов заготовки и обработаны результаты.

Литература

1. *Alf Andersson, Per Thilderkvist, Magnus Liljengren*. Experimental evaluation of strains in the tension-compression using a new tool geometry, X-Die: Journal of materials processing technology 200 (2008) I-II.
2. *Eisso H.Atzema, Carel H.L.J. ten Horn and Henk Vegter*. Influence of tooling layout on sheet forming process analysis: European Congress on Computation Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS, 2004.

УДК 621.365.419

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАМЕРНЫХ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Николай Владимирович Солунин⁽¹⁾, Марат Искандерович Хайрулин⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 3 курса⁽²⁾

кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: А.Г. Попов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Тепловое ограждение является одной из основных частей печи и создает не только тепловую изоляцию рабочей камеры, но и несет нагрузки по размещению садки и устройств подвода тепловой энергии, а также герметизирует рабочую камеру печи. В футеровках своей печи предлагается использовать волокнистые блоки производства фирмы UNIFRAX, которые отличаются высокими конструктивными свойствами, что обеспечивает быстрый монтаж при сборке печи и удобство демонтажа при необходимости проведения ремонтных работ. Волокнистые блоки представляют собой модуль из наборных элементов, с различными системами крепления, что определяет удобство их применения в печах различной конструкции. Размер и толщина блока выбирается исходя из рабочей температуры и размеров рабочего пространства печи.

Расчет теплового ограждения камерной печи

$$t_{вн} = 1250 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{нар} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{ос} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

Плотность теплового потока:

$$q_{ос} = \alpha_{ос} \times (t_{нар} - t_{ос});$$

Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки в окружающую среду:

$$\alpha_{oc} = 9,5 + 98,2 \times 10^{-3} \times (80 - 35) - 4,74 \times 10^{-4} \times (80 - 35)^2 + 1,74 \times (80 - 35) =$$

$$= 13,44 \frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C};$$

$$q_{oc} = 13,44 \times (80 - 35) = 604 \frac{Вт}{м^2};$$

Первый вариант теплового ограждения: шамот + базальт
Однородный слой из шамота:

$$\lambda = 0,31 + 35 \times 10^{-5} \times t = 0,31 + 35 \times 10^{-5} \times 1150 = 0,71 \frac{Вт}{м \times ^\circ C};$$

Слой из базальтового утеплителя:

$$\lambda = 0,1 \frac{Вт}{м \times ^\circ C};$$

Тепловое сопротивление теплоизоляции из шамота:

$$R_{ш} = \frac{b_1}{\lambda} = \frac{0,25}{0,71} = 0,35 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт};$$

Тепловое сопротивление теплоизоляции из базальта:

$$R_o = \frac{0,15}{0,1} = 1,5 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт};$$

Общее тепловое сопротивление:

$$R_1 = 0,35 + 1,5 = 1,85 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт};$$

$$q_1 = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{R_1} = \frac{1250 - 80}{1,85} = 632,5 \frac{Вт}{м^2};$$

$$F_{cp} = 8,5 м^2;$$

$$Q_1 = q_1 \times F_{cp} = 632,5 \times 8,5 = 11700 \text{ Дж};$$

Второй вариант теплового ограждения: волокнистый блок + диатомит
Диатомит (Д600):

$$\lambda = 0,107 + 23 \times 10^{-5} \times 300 = 0,177 \frac{Вт}{м \times ^\circ C};$$

Волокнистый блок:

$$\lambda = 0,17 \frac{Вт}{м \times ^\circ C};$$

Тепловое сопротивление огнеупорной волокнистой футеровки:

$$R_6 = \frac{0,15}{0,17} = 0,84 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт};$$

Тепловое сопротивление теплоизоляции из диатомита:

$$R_d = \frac{0,25}{0,17} = 1,41 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт};$$

Общее тепловое сопротивление:

$$R_2 = 0,84 + 1,41 = 2,25 \frac{m^2 \times ^\circ C}{Bm};$$

$$q_2 = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{R_2} = \frac{1250 - 80}{2,25} = 520 \frac{Bm}{m^2};$$

$$F_{cp} = 8,5 m^2;$$

$$Q_2 = q_2 \times F_{cp} = 520 \times 8,5 = 9620 Bm;$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 11700 - 9620 = 2080 Bm;$$

В ходе проведенных расчетов экономия теплоты за счёт использования предлагаемого теплового ограждения печи составляет 20%.

Литература

1. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы: справочник / под ред. В. А. Григорьева. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 456 с.
2. Расчёт нагревательных и термических печей: справочное издание / сост. С. Б. Василькова и др.; под ред. В. М. Тымчака. – М.: Металлургия, 1983. – 480с.

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Анна Тимуровна Халикова

Студентка 4 курса

кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Ю. В. Майстров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии обработки давлением»

Существует несколько способов изготовления конических деталей: за один и за несколько переходов.

При однопереходной вытяжке конус штампуется из плоской заготовки. При этом необходимо отметить, что в определенных условиях часть заготовки, находящаяся в зазоре между матрицей и пуансоном, может терять устойчивость. В этой части заготовки действуют сжимающие тангенциальные напряжения σ_θ , которые могут вызвать потерю устойчивости.

В тех случаях, когда коэффициент вытяжки, превышает значение допустимого коэффициента вытяжки цилиндрического стакана, а также когда заготовка при вытяжке получает значительную потерю устойчивости, при которой подчеканка в заключительной фазе деформирования не может выправить образующиеся складки, изготовление конических деталей осуществляется за несколько переходов (рис.1).

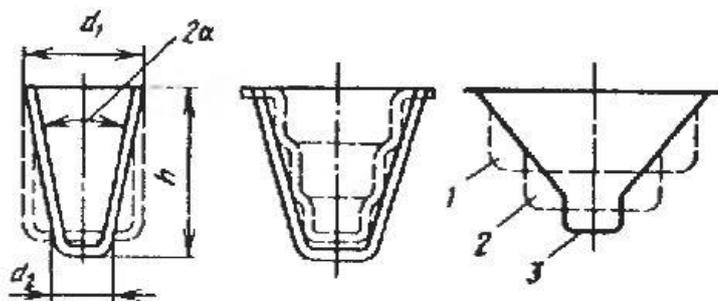


Рис. 1. Схема вытяжки конических деталей

Первый вариант многопереходной вытяжки заключается в получении за необходимое количество переходов цилиндрического стакана с диаметром, равным наибольшему диаметру конической детали, и затем превращением за один переход вытяжки цилиндрической заготовки в коническую деталь.

Второй вариант характеризуется тем, что за предварительные переходы получают ступенчатую деталь, у которой касательная к наружному контуру имеет тот же угол наклона к оси симметрии, что и образующая конической детали, заданной к изготовлению.

Третий вариант вытяжки конической детали заключается в постепенном образовании конической поверхности заданной детали, когда каждый последующий переход наращивает конический участок.

В качестве примера для исследования изготовления конических деталей была выбрана деталь «Конус горловины воздушного фильтра» (рис.2).

Материал, используемый для изготовления детали Сталь 08кп, толщиной 0,8мм. Штамповка осуществляется из ленты.

Анализируя чертеж детали, можно выделить две основные операции: вытяжка конической части ($H = 50$ мм) и отбортовка цилиндрической части ($H = 10$ мм).

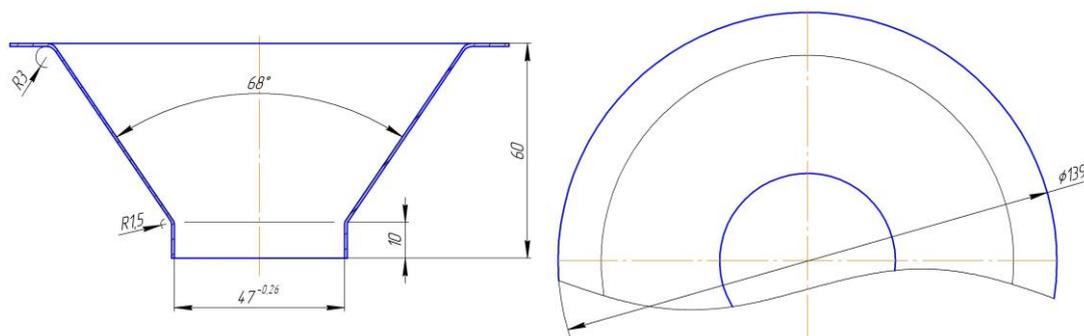


Рис. 2. Чертеж детали

За основу исследования изготовления «Конуса горловины воздушного фильтра» выбрана вытяжка конической детали, которая осуществляется не в глухую матрицу, а в цилиндрическую, равную диаметру наибольшего диаметра конуса. Это делается для упрощения изготовления рабочих инструментов и оснастки штампа. Цель исследования: изучение потери устойчивости на конической части детали и прямолинейность образующей конуса.

Моделирование исследования проводится в программном комплексе Autoform R5.1. Основными критериями анализа штампуемой детали является диаграмма предельного деформирования (Forming Limit Diagram) и функция Wrinkles (складки).

Моделирование проводится для диапазона углов конусности $2\alpha = 6^\circ \dots 88^\circ$, с постоянными силой прижима и диаметром матрицы.

В результате исследования определены значения предельного угла конусности детали, при котором вытяжка конусной детали проходит за один переход без потери устойчивости на конической части поверхности.

Так же рассмотрены методы, позволяющие изготавливать конусные детали с большими значениями конусности за один переход вытяжки.

По итогам математического моделирования и проведенных исследований разработан технологический процесс бездефектной штамповки детали «Конус горловины воздушного фильтра»

Литература

1. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. И доп. – М., «Машиностроение», 1977. 278 с. с ил.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1979. – 520с., ил.

УДК 53.084.823

ОБЗОР И АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕХОДНИКОВ ДЛЯ ТРУБ

Евгения Олеговна Яковлева

Аспирант 1 года

кафедра «Технология обработки давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Евсюков

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»

В настоящее время в технике существует обширный класс тонкостенных конусообразных деталей (например, конические переходники для соединения трубопроводов с цилиндрическими частями в местах соединения – см. рис. 1 и без них – см. рис. 2).

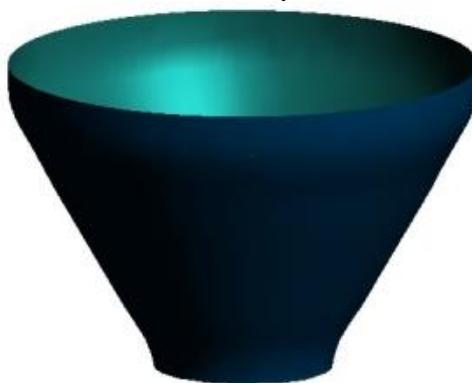


Рис. 1. Переходник с цилиндрическими частями в местах перехода

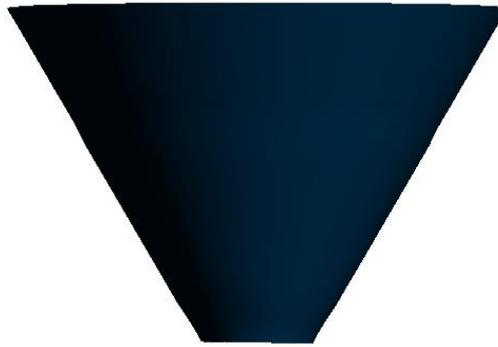


Рис. 2. Переходник без цилиндрических частей в местах перехода

Такие способы изготовления данных деталей, как вырезка по шаблону с последующей гибкой и сваркой по образующей, многопереходная вытяжка с последующим обжимом или раздачей, характеризуются большим отходом металла, использование которого затруднительно.

Для получения высокого коэффициента формообразования применяются несколько способов интенсификации: разупрочнение заготовок за счет пропуска электрического тока, дифференцированный нагрев, применение эффективных смазок, наложение ультразвуковых колебаний и т.д. Однако все эти способы сложно осуществить.

Наиболее простые и эффективные способы получения – это применение совмещенных операций в холодном состоянии. Был изучен способ получения переходников совмещением операций вытяжки, обжима и раздачи в одном штамповом переходе, который дает значительный коэффициент формоизменения, но он также характеризуется большим отходом металла. Наиболее распространенным способом является совмещение операций обжима и раздачи для трубной заготовки, но он дает меньший коэффициент формоизменения, чем предыдущий.

В связи с вышесказанным, возникает необходимость в разработке нового технологического процесса, дающего значительный коэффициент формоизменения при небольшом отходе металла.

Литература

1. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. Москва «Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана», 2003 – 479 с.
2. Попов Е.А. Использование трубной заготовки вместо листовой // Новые процессы обработки металлов давлением. – М., 1962. – с. 144-150.
3. Евсюков С.А., Сулейман А.А. Исследование совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей . // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2013. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/636247.html>.

Секция VII

Технологии сварки и диагностики

Председатель:

Коновалов Алексей Викторович

доктор технических наук, профессор, заместитель
заведующий кафедрой «Технологии сварки и
диагностики»

Ученый секретарь:

Якушин Борис Федорович

доктор технических наук, профессор кафедры МТ-7

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ FE-SiC

Роман Юрьевич Алексеев

Студент 6 курса

кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Николай Владимирович Коберник

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Существует ряд деталей, работающих в условиях абразивного износа при умеренных ударных нагрузках, как, например, зубья ковша экскаватора. Износ зубьев влечет за собой выход из строя дорогостоящего оборудования в целом. Продление ресурса работы подобного оборудования связано с восстановлением изношенных деталей.

Наплавка является универсальным и экономически целесообразным способом ремонта и восстановления деталей. При наплавке основной задачей является выбор технологии и материала, обеспечивающего высокие эксплуатационные свойства наплавленных покрытий.

Перспективным направлением в области повышения износостойкости является создание в наплавленном металле композиционной структуры. Известны покрытия, имеющие матрицу на основе никелевого самофлюсующегося сплава армированного частицами карбида вольфрама, хорошо зарекомендовавшие себя при работе против абразивного износа. Однако никель и карбид вольфрама имеют существенную стоимость, а так же карбид вольфрама склонен к деградации в условиях дуговой наплавки.

В данной работе был предложен принципиально новый состав наплавляемого покрытия, состоящий из матрицы железа или самофлюсующегося никеля, армированного карбидом кремния. На первоначальном этапе был проведен анализ количества армированных частиц, с точки зрения формирования наплавленного валика. Установлено, что массовая доля армирующей фазы не может превышать 5% при размере частиц 14 мкм. Увеличение содержания армирующей фазы ведет к резкому ухудшению жидкотекучей способности металла, что препятствует формированию наплавленного покрытия. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что армирующая фаза в условиях дуговой наплавки сохраняется и имеет достаточно равномерное распределение.

Литература

1. *Гольдштейн Я. Е., Мизин В.Г.* Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
2. *Задиранов А.Н., Кац А.М.* Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. М.: МГИУ, 2008. 198 с.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ДЛЯ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Альберт Александрович Блинов

Студент 6 курса

кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Эдуард Александрович Гладков

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

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. Дуговой датчик не используют для сварки плавящимся электродом, электромагнитный - имеет плохую помехозащищенность. Отсюда можно сделать вывод, что оптический датчик системы слежения является наиболее подходящим вариантом для применения при сварке трубопроводов.

Оптические датчики работают по принципу воздействия прямого или отраженного светового потока на преобразователь, который преобразует это воздействие в электрический сигнал. Оптические датчики работают как по самому свариваемому стыку, так и по специально наносимой параллельно стыку линии. При работе непосредственно по стыку требуется чистота стыкуемых поверхностей деталей и значительная разница восприятия оптикой сплошного металла и стыка. Нанесение специальной линии для оптического датчика перед сваркой требует дополнительных приспособлений и трудовых затрат, что практически сводит к нулю возможность применения этого метода.

Был исследован один из оптических систем слежения лазерная система: SLS – Smart Laser Sensor – разработка британской компании Meta Vision Systems Ltd., занимающейся оптическими системами. SLS-050 - это лазерный датчик нового поколения для всех типов применений механизированной, автоматизированной и роботизированной сварки. Основой датчика является чётко-отработанный принцип триангуляции применяемый моделирования сварной зоны.

При незначительных, но резких колебаниях, датчик также на короткое время может «потерять» стык, но система автоматически аппроксимирует этот «провал». При увеличении угла наклона датчика по отношению к стыку увеличивается погрешности в вычислении параметров стыка. Рекомендуемое максимальное значение угла наклона - 20°.

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. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

УДК 620.179.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗК ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ СОПЛА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вадим Вячеславович Борзихин

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: М.А. Прилуцкий

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Паянные тонкостенные конструкции широко применяются в изделиях ракетно-космической техники. Сопла и камеры сгорания (КС) современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в России представляют собой конструкции, наружная и внутренняя стенка которых соединены при помощи пайки. С повышением показателей эффективности двигателей и, как следствие, повышения давления внутри КС и межстенном пространстве КС и сопла ЖРД, возросла необходимость контроля таких соединений.

Конструктивно сопло современного ЖРД представляет собой двухстенную паяную оболочку. Наружная стенка толщиной $0,8 \pm 0,1$ мм содержит подколлекторное кольцо. Внутренняя стенка выполнена оребренной (ширина ребра $0,8 \pm 0,1$ мм, высота ребра 1,5 мм) общей толщиной $2,1 \pm 0,1$ мм. Пайка внутренней и наружной стенки выполняется по ребрам.

По статистике наиболее часто встречающимся дефектом в паяных соединениях сопел и КС ЖРД являются непропаи (71% от общего количества дефектов) и неспаи (18%). Минимальный размер площади дефектов, в соответствие с конструкторской документацией, как неспая, так и непропая составляет 1 мм^2 . Величина раскрытия дефектов в паяном соединении: для неспая ~ 5 мкм, для непропая - от нескольких десятков мкм.

Для выявления дефектов в данной конструкции были рассмотрены 2 способа контроля: лазерно-ультразвуковой контроль, и ультразвуковой контроль с использованием фокусирующего иммерсионного преобразователя.

Были изготовлены два образца паяных соединений и один образец с фрезерованными ребрами. Образец №1 представляет собой две пластины, спаянные друг с другом. Верхняя пластина толщиной 3 мм, нижняя 1мм. Припой СТЕМЕТ 1301А. Толщина паяного слоя 50 мкм. В центре данного образца заложен непропай. Образец №2 так же представляет собой 2 пластины, спаянные друг с другом. Толщина верхней пластины 3 мм, нижней 1 мм. На образце №2 выполнены искусственные отражатели диаметром 1 мм и 2 мм, со стороны пластины 1 мм на всю ее глубину. Образец №3 - пластина, с выфрезерованными ребрами, толщиной 0,8 мм и высотой 1,5 мм, имитирующую внутреннюю стенку сопла.

По результатам поставленных экспериментов можно сделать вывод, что чувствительность предложенных способов контроля позволяет обнаружить минимальный размер площади дефектов, заданных в конструкторской документации.

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. Карабутов А. А., Матросов М. П., Подымова Н. Б. Термооптический генератор широкополосных импульсов сдвиговых волн // Акустический журнал. 1993. Т. 39(2). С. 373.
3. ГОСТ 26126-84. Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества. М.: Издательство стандартов, 1984. 4 с.
4. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. М.: Машиностроение, 2007.

УДК 621.791.16

ТЕХНОЛОГИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ КОРПУСА АККУМУЛЯТОРА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА

Михаил Витальевич Варламов

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Станислав Степанович Волков

кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В современной промышленности производство изделий из различных видов пластмасс не уступает по значимости производству металлоконструкций. Пластмассовые конструкции с успехом заменяют конструкции из легированных сталей, цветных металлов и сплавов, бетона и дерева, позволяя в ряде случаев исключить коррозию, увеличить в 10-15 раз ресурс изделий, по сравнению со стальными, уменьшить в 8 - 10 раз массу и не менее чем в 10 - 15 раз снизить транспортные расходы.

Традиционными областями крупномасштабного применения пластмасс являются химическое, пищевое аппаратостроение, строительство трубопроводов различного назначения, изготовление ёмкостей, пленочной тары и упаковки. В автомобильной промышленности пластмассы используются для изготовления внутренней обивки, топливных баков, бамперов, корпусов аккумуляторов, воздухопроводов, приборной панели и т. д.

Широкая номенклатура выпускаемых пластмасс, необходимость изготовления разнообразных конструкций из них способствовали разработке различных технологий соединения пластмасс таких как: сварка, склеивание, механическое соединение (с помощью болтов, заклепок и т.д.). При сварке отсутствует необходимость введения в зону соединения инородных материалов. Таким образом, достигается максимальное приближение свойств соединения к свойствам основного материала.

Изделие, подлежащее сварке – аккумуляторная батарея с корпусом из полиэтилена. Ранее корпус изготавливался из полипропилена, но ввиду его низкой морозостойкости, корпус и крышку стали изготавливать из полиэтилена.

Ранее преобладала контактная тепловая сварка. Преимуществами данной технологии являются простота и высокая производительность. Недостатками являются снижение прочности сварного соединения, что обусловлено инородными включениями (проволока, лента), а также невозможностью точной дозировки тепловой энергии.

Невозможность точной дозировки тепловой энергии может привести к перегреву материала, что в дальнейшем приведет к деструкции пластмассы, а также ухудшению внешнего вида сварного соединения.

Проблемы снижения прочности и точности дозирования вводимой энергии могут быть решены путем использования способа ультразвуковой сварки. Способ ультразвуковой сварки позволяет получать соединения без использования инородных включений, что позволит избежать снижения прочности. Точность дозирования вводимой энергии осуществляется путем расчета и подбора параметров ультразвуковой сварки, таких как: амплитуда УЗ колебаний, частоты УЗ колебаний, сварочного статического давления, времени сварки.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

УДК 620.179.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПОПЕРЕЧНОЙ ВОЛНЫ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ВОЛН РЭЛЕЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Анатолий Андреевич Галенко

Студент 3 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»

При работе пьезоэлектрического преобразователя, предназначенного для возбуждения волн Рэлея, было обнаружено наличие распространения волны поперечного типа в толщине объекта контроля. Факт существования поперечных волн в подобных ситуациях был подробно исследован в работе Л.В. Басацкой и И.Н. Ермолова [1]. В работе этих ученых подробно рассмотрен процесс формирования поперечных волн при после критических углах (углах падения более второго критического), построены диаграммы направленности. Возможность использования волн поперечного типа, полученных при использовании специализированных преобразователей, возбуждающих волны Рэлея, вызывает практический интерес для параллельного контроля не только поверхности изделия, но и обнаружения внутренних дефектов сварных соединений и основного металла.

На основе существующих работ по данной тематике в данной работе было сделано следующее:

- получена математическая модель для построения диаграмм направленности поперечных волн при после критических углах падения продольной волны на поверхность металла, где в качестве материала призмы преобразователя используется полисульфон (скорость продольной волны 2273 м/с);
- построена диаграмма направленности поперечной волны;
- определен угол ввода лепестка с наибольшей амплитудой волны;
- рассчитана доля энергии излучателя, которая затрачивается на формирование поперечной волны.

Литература

1. *Басацкая Л.В., Ермолов И.Н.* Поле преобразователей с углами наклона, близкими к критическим // Дефектоскопия. 1985. №4. С. 3-11.

2. Дианов Д.Б. Исследование направленности призматических преобразователей // Дефектоскопия . 1965. № 2. С. 8-22.
3. Гребенник В.С., Тайц М.З. Расчет диаграммы направленности призматического искателя // Дефектоскопия. 1981. №1. С. 87- 101.

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРОТЕКАЮЩИМ ТОКОМ

Екатерина Алексеевна Гришина

Студентка 5 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. В. Коновалов

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Способ сварки с дополнительной горячей присадкой (ДГП), разработанный в МГТУ им. Н.Э.Баумана в прошлом веке [1,2], позволяет значительно уменьшить тепловложение в основной металл, что особенно актуально, в частности, для современных трубных сталей, используемых при производстве труб для магистральных газопроводов. Для реализации способа была разработана конструкция специализированного источника питания для подогрева присадочной проволоки протекающим током.

Разработанный источник питания имеет ряд отличий от источников питания сварочной дуги. В частности, разработанный источник имеет значительно более низкое напряжение холостого хода, чтобы гарантированно не допустить зажигания дуги между присадочной проволокой и изделием. Силовая часть источника выполнена по схеме инвертора, работающего на повышенной частоте, что позволяет значительно уменьшить вес и габариты понижающего трансформатора, и обеспечить необходимую синхронизацию со сварочными источниками питания.

Диапазон изменения тока источника, обеспечивающий требуемые температуры нагрева ДГП, был определен тепловым расчетом [3,4] в зависимости от вылета, диаметра и скорости подачи проволоки. На его основе были выбраны элементы силовой электроники и готовый трансформатор, разработана компоновка источника и монтажная схема. Опытный образец источника предполагается опробовать в составе двухдуговой установки для сварки под слоем флюса в лаборатории кафедры технологий сварки и диагностики МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Литература

1. Б.Ф.Якушин Способ дуговой сварки мартенситных сталей в защитном газе. А.С. №1031674 от 30.07.1983 г. / Бюл. № 28.
2. Б.Ф.Якушин Способ дуговой сварки мартенситных сталей. А.С. №1704982 от 15.09.1991 г. / опубл. 15.01.1992, Бюл. № 2.
3. А.В. Коновалов Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
4. Гришина Е. А., Коновалов А. В. Расчет необходимой температуры подогрева присадки для ввода в хвостовую часть сварочной ванны. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные

технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.– № гос. регистрации 0321400749.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=910 (дата обращения: 02.03.2015).– Загл. с экрана.

УДК 621.791

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕЛАТЕЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРИ МНОГОСЛОЙНОЙ СВАРКЕ ПРОДОЛЬНОГО ШВА ТРУБЫ

Анжелика Валерьевна Дорохина

Студентка 5 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. В. Коновалов

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Известно, что многослойная сварка имеет большой потенциал по регулированию сварочных термических циклов (СТЦ) для получения благоприятного структурного состояния зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения. Такая формулировка интуитивно понятна, но требует уточнения, какое структурное состояние является «благоприятным», и каким должен быть СТЦ для его достижения. Так, для получения высоких показателей ударной вязкости ЗТВ и ее сопротивляемости образованию холодных трещин необходимо, чтобы размер действительного аустенитного зерна в зоне перегрева ЗТВ (т.е. в ОШЗ) был минимальным. С этой точки зрения СТЦ в ОШЗ многослойной сварки должен быть таким, чтобы первые тепловые воздействия приводили к неизбежному росту зерна и закалке (от этого избавиться невозможно, т.к. ОШЗ формируется при подсолидусных температурах); очередное тепловое воздействие должно привести к рекристаллизации аустенита с измельчением зерна и, возможно, повторной закалкой. Для этого максимальная температура очередного воздействия должна быть выше A_3 , но ниже температуры начала интенсивного роста зерна (в низколегированных сталях примерно 1000°C). Все последующие воздействия должны обеспечивать отпуск закаленных структур, для чего их максимальная температура не должна превышать A_1 . При таком СТЦ многослойной сварки, действительно, может быть достигнуто «благоприятное» структурное состояние, характеризующееся дисперсной структурой продуктов отпуска бейнитного характера, обладающих высокими прочностными и вязкими свойствами.

Обеспечение таких свойств особенно актуально при производстве труб для магистральных газопроводов из современных малоперлитных трубных сталей. В этой связи рассмотрена возможность перехода на технологию многослойной сварки продольного шва труб в среде защитных газов. Для сохранения сложившейся производительности сварки все проходы должны выполняться с одинаковой скоростью за одно поступательное движение трубной заготовки, что возможно при организации сварки разнесенными горелками.

Проведенные тепловые расчеты показали, что для обеспечения желательного СТЦ длина блока из пяти горелок не превышает 1,5 метра, что вполне приемлемо для сварочного стенда.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

УДК 621.791

НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРИВАЕМОСТИ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Исатай Маликаждарович Дюсупов ⁽¹⁾, Алексей Владимирович Смирнов ⁽²⁾

Студент 6 курса ⁽¹⁾, студент 4 курса ⁽²⁾

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Якушин Борис Федорович

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Доклад посвящен проблемам сварки конструкций из хладостойких сталей пригодных для эксплуатации при климатически низких температурах (-40 ..-60 °С). Суть проблемы состоит в том, что сварные соединения имеют пониженную хладостойкость, не отвечающую техническим требованиям к изделиям. При этом наибольшее несоответствие выявляется в зоне сплавления, где химический состав не претерпевает изменений. Хладостойкость сталей, измеренная работой разрушения при ударном изгибе образцов типа Шарпи из основного металла при -60°С достигает 250-300 Дж/см², а для образцов, вырезанных из сварных соединений, полученных автоматической сваркой под флюсом, снижается до 30 Дж/см².

Сделано предположение, что главная причина падения свойств скрыта в термомодеформационном сварочном цикле, который характеризуется длительным нагревом и совмещенной с ним по времени и месту высокотемпературной межзеренной деформацией, создающей микроразорванные горячие трещины, а при понижении температуры в процессе охлаждения - высокопластической деформацией, с одновременным нарастанием сварочных напряжений до предела текучести, а также микропластическим течением в зоне закалки, вызывающим зарождение холодных микротрещин.

Предложено рассматривать роль этих факторов в условиях многофакторного воздействия на сталь в технологическом процессе сварки не изолированно, а взаимосвязано с учетом временного фактора, при котором предшествующее воздействие дает свой вклад в результативность последующего. Такой подход к анализу сложных многозвенных технологических процессов получил название: «технологическое наследование дефектов кристаллической решетки при сварке».

Разработана методика, предназначенная для физического моделирования изменений структуры и свойств металла в процессе сварки, что необходимо для выявления этапов технологии, в которых наступают необратимые изменения структуры, наследуемые на промежуточных этапах изготовления и при последующей эксплуатации.

Методика предусматривает, что в процессе испытания на горячие и холодные трещины происходят структурные изменения, увеличивающие плотность дефектов кристаллического строения, как при сварке жесткой конструкции. Чем больше плотность дефектов, тем ниже показатель хладноломкости. Это позволяет оптимизировать сталь по хладноломкости при неизменном режиме сварки, либо выбор технологических вариантов (флюс, марки проволок при одинаковом способе и режиме сварки) и, тем самым, совершенствовать технологию сварки.

Второе назначение методики - разработать количественный критерий сравнения и выбора сталей требуемой хладостойкости, сочетающий влияние химического состава стали, её исходного структурного состояния, а также погонной энергии и термомодеформационного цикла сварки на показатели хладостойкости сварного соединения.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

УДК 620.179.1

ПРОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ «ROTOSCAN»

Андрей Дмитриевич Жуков

Студент 5 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Алексей Александрович Дерябин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Процесс автоматизации проведения ультразвукового контроля является, на фоне роста объемов строительства магистральных трубопроводов, весьма актуальной на сегодняшний день проблемой. Поэтому настоящая работа посвящена автоматическому ультразвуковому контролю стыковых кольцевых швов при помощи системы Applus RTD Rotoscan производства компании LLC Applus RTD.

Система Applus RTD Rotoscan является уникальной на пространстве Россия-СНГ и обеспечивает проведение комплексного автоматизированного контроля за счет применения различных методик контроля:

- с применением эхо-импульсной методики, учитывающей характеристики контролируемого изделия, в т.ч. характеристики разделки кромок под сварку (применение зональной концепции разделения шва);

- с применением методики с широконаправленными лучами для цели выявления объемных дефектов и визуализации сечения сварного соединения Applus RTD IWEX 3D Imager.

- с применением методики контроля за акустическим контактом между преобразователями и объектом контроля, что также позволяет вести постоянный контроль на наличие расслоений в основном металле контролируемого объекта;

- с применением методики контроля при помощи TOFD- метода (дифракционно-временного метода)

В результате проделанной работы:

- 1) Проведен анализ возможностей системы Applus RTD Rotoscan;
- 2) Проведен анализ экспериментальных данных полученных с использованием системы Applus RTD Rotoscan;
- 3) Проведен анализ технологии и принципов использования системы Applus RTD Rotoscan и на основе данного анализа предложена улучшенная технология оценки размеров дефектов.

Литература

1. *Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потанов 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 620.179.1

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СПОСОБА ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛЕЙ

Кирилл Максимович Зюганов

Студент 3 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Алексей Александрович Дерябин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время существуют два способа возбуждения ультразвуковых колебаний: возбуждение ультразвуковых волн с использованием силы Лоренца и возбуждение с использованием эффекта магнитострикции. Оба способа нашли широкое применение в технике, но практическое использование требует разграничения применимости этих способов возбуждения для различных классов сталей.

Для решения поставленной задачи рассматривались следующие вопросы:

- влияние коэрцитивной силы на процессы возбуждения ультразвуковых волн при помощи магнитострикции;
- влияние коэрцитивной силы на процессы возбуждения ультразвуковых волн при помощи силы Лоренца;
- влияние структуры материала на коэрцитивную силу.

В основу работы положен анализ влияния структуры металлов на коэрцитивную силу.

Литература

1. *Бахарев М. С.* Разработка методов и средств измерения механических напряжений на основе необратимых и квазиобратимых магнитоупругих явлений: Автореферат дисс. ... докт. техн. наук. Тюмень, 2004. 45 с.
2. *Михеев М.Н., Горкунов Э.С.* Магнитные методы неразрушающего контроля структурного состояния и прочностных характеристик термически обработанных изделий: Обзор // Дефектоскопия. 1985. №3. С.3-21.
3. *Кулеев В. Г., Горкунов Э.С.* Механизмы влияния внутренних и внешних напряжений на коэрцитивную силу ферромагнитных сталей // Дефектоскопия. 1997. №11. С.3-18.
4. *Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов* Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений / Под общ.ред. *Б.Н. Арзамасова*. 2-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 884 с.

УДК 620.179

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ СВАРКЕ С ДГП МОСТОВЫХ СТАЛЕЙ

Валентин Сергеевич Килёв

Студент 6 курса

кафедра «Технология сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Б. Ф. Якушин

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология сварки и диагностики»

В последние годы в России возрастают темпы строительства автомобильных дорог. Например, в Москве в течении 2014 - 2017 годов планируется построить 75 пешеходных переходов и 90 мостов, эстакад и путепроводов, а в Карелии 2012 по 2015 год – построить 13 новых и отремонтировать 80 мостов.

При строительстве мостов на Севере России, актуально применение сталей, работоспособных при температурах до -60°C и стойких к атмосферной коррозии, например 10ХСНД и 14ХГНДЦ. Применение этих материалов позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы при увеличении срока службы конструкций до 2-х раз. Однако при сварке этих сталей хладостойкой проволокой 10НМА под флюсом недостаточен уровень ударной вязкости металла шва.

Повышения ударной вязкости сварных соединений можно достичь, используя модифицирование швов титаном. Однако, введение титана в дугу малоэффективно вследствие его высокой химической активности.

Цель настоящей работы – повышение ударной вязкости швов путём их модифицирования титаном, вводимым в остывающую часть сварочной ванны в составе дополнительной присадки (ДГП), нагретой проходящим током.

Способ сварки с ДГП обладает рядом преимуществ:

- Легирующие и модифицирующие элементы, входящие в состав ДГП, не проходят столб дуги, следовательно, меньше подвержены дезактивации;
- По сравнению со сваркой без присадки, уменьшаются сварочные деформации при одной и той же форме разделки кромок, так как присадка охлаждает перегретый металл сварочной ванны и значительно уменьшает погонную энергию, что также уменьшает размер зерна и повышает ударную вязкость;
- Охлаждение центральной части сварочной ванны снижает зональную ликвацию в шве и, следовательно, устраняет зону «слабины» в центре шва [2];
- Снижение уровня водорода $[\text{H}_2]$ в ванне, пропорционально доле горячей присадки, не содержащей H_2 ;
- Импортозамещение, так как для нагрева присадки может использоваться трансформатор, изготовленный на базе отечественных сварочных аппаратов с минимальными конструктивными изменениями.

В нашем исследовании титан вводился в шов в составе горячей присадки 08ГСМТ. Материал образцов – сталь 10ХСНД. Производится исследование образцов на ударную вязкость и склонность швов к горячим трещинам.

В результате проведённых экспериментов по сварке с ДГП с применением нагревателя присадки, изготовленного на основе серийно выпускаемого сварочного источника, получено качественное формирование шва и меньшие, по сравнению со сваркой без присадки, деформации образцов. Подтверждена возможность применения этой технологии при заводской и монтажной сварке мостовых конструкций после простейшей модернизации.

Литература

1. *Гущин Д. А.* Повышение стабильности и хладостойкости сварных соединений конструкций сварных мостов. Дисс... канд. техн. наук. Воронеж. 2014.
2. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
3. Около 90 км дорог планируется ввести в Москве по итогам 2014 года [Электронный ресурс] // Комплекс Градостроительной Политики и Строительства Города Москвы: информ. портал. М., 2005-2015. URL: <http://stroim.mos.ru/news/okolo-90-km-dorog-planiruyetsya-vvesti-v-moskve-po-itogam-2014-goda> (дата обращения: 25. 02. 2015).
4. В Карелии к 2020 году планируется построить 92 км дорог и 16 мостов [Электронный ресурс] // ИТАР-ТАСС: информ. портал. URL: <http://tass.ru/spb-news/1302313> (дата обращения: 26. 02. 2015).

УДК 620.192.63

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕНТГЕНОВСКОМ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ И ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Ольга Александровна Крупнина

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»

Радиационная дефектоскопия при всех своих преимуществах остается довольно трудоемким и материалоемким процессом, особенно при использовании радиографического метода. Развитие цифровой техники и электроники привело к появлению новых устройств детектирования ионизирующего излучения, а также развитию такого метода как радиоскопический. Из всех представленных на рынке устройств, наибольший интерес представляют цифровые матричные системы или плоские детекторы, как решение для замены пленки, способное значительно сократить время контроля и автоматизировать сам процесс.

В данный момент в России не существует стандартов, регламентирующих применение цифровых радиоскопических систем. На данный момент основным международным стандартом на цифровую радиографию с помощью плоскопараллельных детекторов является EN ISO 17636-2. В данном документе описываются основные понятия и определения при дефектоскопии с использованием плоских панелей, а также требования к качеству получаемого изображения.

Однако анализ исследований, проведенных для определения характеристик различных матричных детекторов, показал, что матричные детекторы имеют свои особенности, как по геометрическим характеристикам (размер пикселя и активной зоны, число пикселей), так и по технике работы с ними (применяемое ПО, поддержка автоматического накопления кадров, процедура калибровки и другие опции). Следовательно применение одинаковых условий экспонирования ко всем панелям – далеко не оптимальный подход. Для окончательного решения о применимости определенного детектора в целях рентгеновского контроля требуется провести детальное исследование его возможностей с учетом рекомендаций стандарта ISO 17636-2.

В данной работе проведены исследования цифрового детектора XDR 0822 при контроле тонкостенных сварных конструкций сложной геометрии из алюминиевых сплавов, а также сформулированы рекомендации по настройке данного преобразователя для получения изображения требуемого качества.

Литература

1. EN ISO 17636-2:2013. Контроль неразрушающий сварных швов. Радиографический метод контроля. Часть 1. Съемка X и гамма лучами с использованием цифровых детекторов / Non-destructivetestingofwelds – Radiographictesting – Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors.
2. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / под ред. Ключева В.В., М.: Машиностроение, 1995, 488с.
3. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
4. ISO 17636-2: 2013(E) Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors.
5. Possibilities and Limits of Digital Industrial Radiology: The new high contrast sensitivity technique - Examples and system theoretical analysis; Uwe Zscherpel, Uwe Ewert, Klaus Bavendiek; DIR 2007 - International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, June 25-27, 2007, Lyon, France.
6. Багаев К.А. Цифровая радиография, обзор технологий и зарубежных стандартов // Экспозиция Нефть Газ. 2012. №7. С. 11-13.
7. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. МОСКВА: Мир. 1998. 700 с.

УДК 621.791.14

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СТП АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ШВА

Александр Константинович Кудрин

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Алексей Владимирович Малолетков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Изготовление крупногабаритных сварных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов связано с большими сложностями вследствие их склонности к образованию горячих трещин, а также разупрочнению под воздействием термического цикла сварки плавлением ($\sigma_{\text{в.с.}} \leq 0,6\sigma_{\text{в. осн.мет.}}$). Повысить эксплуатационные характеристики сварных соединений возможно за счет применения новых технологических процессов, таких как различные методы сварки давлением. Именно таким процессом является сварка трением с перемешиванием (СТП).

Важнейшим этапом при разработке технологии сварки является получение режимов процесса: исключающих образование дефектов сварных соединений, что в конечном итоге, определяет не только уровень механических свойств, но и производительность изготовления сварной конструкции.

В работе представлены результаты серии экспериментов по сварке пластин алюминиевого сплава АМг6 при различных режимах. Целью работы является определение

закономерностей формирования недопустимых дефектов и оптимизация режима сварки исследуемого сплава.

Сварка проводилась на листах сплава толщиной 4 мм на стационарной установке для СТП. В ходе проведения исследований установлено, что занижение сварного шва до 0,2 мм на качество соединения не оказывает значительного влияния, получены зависимости сварочного усилия от скорости сварки и величины заглубления сварочного инструмента, а также частоты вращения инструмента от скорости сварки, при которых отсутствует образование дефектов.

На основании полученных данных возможна разработка и выдача исходных данных для проектирования необходимого оснащения, в том числе головок сварочного инструмента, совершенствование конструкции сварочного инструмента с целью повышения качества сварного соединения.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

УДК 620.179.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ ТИПА НЕСПЛАВЛЕНИЙ ПО КРОМКЕ ШВА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Андрей Геннадьевич Кусый

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: М.В. Григорьев

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время при сварке стыковых соединений магистральных нефтепроводов часто возникают несплавления по границе разделки соединения. Несплавления недопустимы, так как являются концентраторами, вызывающими развитие трещин. Данные дефекты образуются при дуговой сварке из-за того, что дуга не расплавилась часть кромки стыка и не сформировала шов с ее участием.

При контроле возникают сложности при выявлении несплавлений, а именно, с оценкой их протяженности. На данный момент времени они выявляются с помощью радиографического метода контроля по схеме панорамного просвечивания. Но так как несплавления – плоскостной дефект, то их выявление зависит от ориентации и величины раскрытия. Для выявления этих дефектов необходимо, чтобы плоскость их раскрытия была близка к направлению просвечивания ($0 - 10^\circ$), а их раскрытие было не менее 0,05 мм. В реальности данные условия выполнить сложно, поэтому размеры, получаемые по рентгеновским снимкам, зачастую меньше реальных размеров, полученных по результатам вскрытия.

Целью исследования является повышение выявляемости дефектов и сравнительный анализ результатов оценки условных размеров дефектов акустическими методами контроля. Выбор ультразвукового контроля основан на том, что он позволяет выявлять плоскостные дефекты с раскрытием $10^{-4} - 10^{-6}$ мм. Таким образом, при использовании ультразвукового контроля можно получить результаты более близкие к реальным.

Для проведения измерений условной протяженности дефектов с помощью УЗК был изготовлен образец из стальной пластины толщиной 10 мм. Для имитации несплавления по

границе разделки кромок на образце были выполнены пропилы различной длины под углом 30°, шириной раскрытия 0,5 мм на глубину 3,5 мм. Измерения проводились по четырем схемам – прямым и однократно отраженным лучами с двух сторон от пропила.

В результате проведенных измерений, был установлен уровень усиления, при котором условная протяженность дефекта наиболее близка к реальной протяженности дефекта. Так же в результате данной работы установили схемы и методику ультразвукового контроля, повысили выявляемость дефектов.

Литература

1. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потанов А.И. Неразрушающий контроль. Акустические методы контроля / Под ред. Сухорукова В.В. М.: Высшая школа, 1991. 283 с.
2. Гурвич А.К., Щукин В.А. Сравнительная оценка способов измерения условной протяженности дефектов // Дефектоскопия. 1970. №6.
3. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. М.: Машиностроение, 2007.

УДК 620.179.1

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕФЕКТОВ В МОНОЛИТНЫХ ОБРАЗЦАХ ИЗ ПКМ, ВЫЯВЛЯЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ, НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА

Максим Алексеевич Лавренченко

Аспирант 1 года

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: М.А. Прилуцкий, Н.А. Щипаков

кандидаты технических наук, доценты кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Специфика изготовления и эксплуатации изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе углеродных волокон и полимерной матрицы определяет характерные типы дефектов, таких как поры, инородные включения, расслоения, ударные повреждения и др.

Для обеспечения требуемого качества изделий из полимерных композиционных материалов, необходимо проводить как контроль параметров процесса изготовления (скорости подачи смолы, глубины вакуума, времени выдержки), так и неразрушающий контроль готовых изделий.

Наиболее распространенным методом неразрушающего контроля качества изделий из ПКМ является ультразвуковой метод, позволяющий обнаруживать все основные типы характерных дефектов, как объемных (поры, инородные включения), так и плоскостных (расслоения, ударные повреждения).

Для определения влияния основных типов дефектов и их размеров на прочностные характеристики материала, были проведены теоретические и экспериментальные исследования, включающие механические испытания на растяжение, изгиб и сжатие монолитных образцов из ПКМ, с заложенными в них искусственными дефектами, имитирующими расслоения различных размеров и ударные повреждения.

Показано, что при испытаниях на 4-х точечный изгиб наличие ударных повреждений (по ASTM D7136) в образцах из полимерных композиционных материалов, уменьшает жесткость образцов на 9%, а расслоения различного диаметра в диапазоне 4 – 12 мм, обнаруживаемые с

использованием ультразвукового метода неразрушающего контроля, влияния на жесткость практически не оказывают.

Показано, что при испытаниях на растяжение в образцах из ПКМ сохранение прочности при наличии ударных повреждений (по ASTM D7136) составляет 89 %.

Расслоения различного диаметра в диапазоне 4 – 12 мм и ударные повреждения (по ASTM D7136) при испытаниях на сжатие существенного влияния на прочность данных образцов не оказывают.

Литература

1. *Бохоева Л.А.* Исследование устойчивости пластин из слоистых композиционных материалов с дефектами типа сквозное отслоение // Известия вузов.Машиностроение. 2007. № 2. С.7-16.
2. *Смовзюк Л. В.* Исследование влияния параметров расслоения на несущую способность панелей из композиционных материалов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2010. Вып.1. С. 58-67.
3. *Гайдачук В.Е.* О допустимом уровне напряженности деталей авиаконструкций, возникающей при их производстве или ремонте упругим деформированием // Самолетостроение. Техника воздушного флота: Сб. науч. тр. - Х.: Высш. шк. при ХГУ. Вып. 54. - 1987. - С.79 - 83.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ДУГУ ПРИ СВАРКЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Никита Евгеньевич Лашко

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Александр Михайлович Рыбачук

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Объектом исследования является технология применения комбинированной магнитной системы, предназначенная для создания поперечного магнитного поля, пронизывающего жидкий металл сварочной ванны, для предотвращения провисания корня сварного шва.

Цель работы — определить влияние ферромагнитного материала на распределение магнитных полей при сварке в четырехполюсном поле.

В процессе работы был проведен патентный и литературный обзор в направлении о влиянии поперечного магнитного поля на форму сварного шва и оборудовании необходимым для ввода и создания поля.

В результате исследования были получены графики магнитной индукции, а также графики магнитной индукции при вводе ферромагнитного материала.

Данная технология с использованием магнитной системы позволяет регулировать магнитное поле в области дуги и ванны и перемещать область с минимальным магнитным полем по высоте относительно поверхности свариваемых деталей.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного.* - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

2. Чернышов Г.Г., Рыбачук А.М. Параметры технологических процессов сварки и качество соединений: Учебное пособие / Под ред. Г. Г. Чернышова. М.: Изд-во МГТУ, 1991. 72 с.
3. Акулов А.И., Рыбачук А.М. Удержание жидкого металла сварочной ванны поперечным магнитным полем // Сварочное производство. 1972. №2.
4. Brugge B.J. Electric Arc Weldin, Pat. 2,001,179 (USA). 1933.
5. Breimeier R.T. Magnetically-impelled arc Welding method and apparatus, Pat. 2,809,277 (USA) 1955.
6. Рыжов Р.Н., Кузнецов В.Д. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки (обзор) // Автоматическая сварка. 2006. №10.
7. Бойко В.І., Носов Д.Г., Перемитько В.В. Використання асиметричного магнітного поля для керування формою проплавлення при відновленні прокатних валків // Вісник СумДУ. Серія Технічна науки. 2007. №4.
8. Малишев О.В., Рыжов Р.М. Пальник для зварювання зовнішніми електромагнітними діями, 42252(UA) 2000.
9. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.
10. Чернышов Г.Г., Сычев М.П., Рыбачук А.М. Распределение токов в сварочной ванне // Автоматическая сварка, 1979. №11.

УДК 621.791.042.3

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРИСАДКИ В ВИДЕ Порошковой проволоки с модифицирующими компонентами

Алексей Валерьевич Лобанов

Студент 6 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»

Строительство опасных производственных объектов в условиях низких температур требует соблюдения повышенных требований к ударной вязкости сварного шва.

Для обеспечения необходимых и стабильных значений ударной вязкости применяются различные подходы. Одним из самых распространенных, является комплексное легирование марганцем, кремнием и никелем. Применение никеля приводит к увеличению стоимости сварочных материалов в среднем на 30%. Кроме того, для повышения пластичности металла шва применяют его модифицирование – измельчение структуры металла шва при помощи примесей, специально вводимых в расплав или формирующихся в нем под влиянием добавок.

В настоящее время активно ведутся работы по использованию наноразмерных частиц в различных областях техники и производства. Новые технологии производства наноразмерных тугоплавких частиц дали толчок к применению их и в области сварки, однако, процесс взаимодействия такого рода частиц с металлом сварочной ванны мало изучен. Поскольку частицы имеют размер около 100 нанометров, возникает проблема точной дозировки количества частиц, а также их равномерного распределения по сечению и длине шва. Существует несколько способов их введения, такие как: засыпка гранул в зону сварки, перемешивание гранул с флюсом при сварке под флюсом, создание порошковой проволоки с гранулами.

Стоит отметить, что использование порошковой проволоки с модифицирующими частицами представляет собой наиболее перспективный способ введения наноразмерных частиц, так как подача тугоплавких частиц может осуществляться по принципу дополнительной горячей присадки, минуя дуговой промежуток; кроме того, возможна более точная дозировка вводимой проволоки.

Цель работы заключается в повышении ударной вязкости металла шва при автоматической сварке под флюсом низкоуглеродистых сталей за счет модифицирования металла шва тугоплавкими наноразмерными частицами (WC, TiN и Al₂O₃).

В результате проделанной работы удалось повысить ударную вязкость металла шва на 20-30%, кроме того повысилась производительность наплавки в среднем на 65%.

Литература

1. *Гольдштейн Я. Е., Мизин В.Г.* Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
2. *Задиранов А.Н., Кац А.М.* Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. М.: МГИУ, 2008. 198 с.
3. *Якушин Б.Ф., Сударев А.В.* Анализ эффективности ввода дополнительной горячей присадки при дуговой наплавке закаляющихся сталей // Сварка и диагностика. 2007. №1. С.4-5.

УДК 620.179.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РОЛИКОВЫХ ДАТЧИКОВ

Андрей Андреевич Марков

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»

Для труб магистральных газопроводов могут представлять особую опасность участки остаточных сварочных напряжений в зоне термического влияния сварного шва или в зоне догибов кромок листа. Поскольку точное расположение дефекта коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) подземного газопровода трудно предсказать даже многими известными методами физического металловедения, а ультразвуковая внутритрубная дефектоскопия газопроводов является слишком затратной, все силы отрасли были направлены на развитие магнитной внутритрубной дефектоскопии. Но использование ультразвукового контроля позволит увеличить выявляемость и производительность контроля газопроводов. Поэтому чтобы снизить затраты на УЗК (уйти от использования контактной жидкости) рассматривается вариант с использованием роликовых ультразвуковых ПЭП.

Целью данной работы является - повысить выявляемость дефектов и производительность контроля магистральных газопроводов.

Было составлено и рассмотрено уравнение акустического тракта роликовых преобразователей (для системы пьезопластина, вода, резина, металл) при различных частотах и размерах дефектов. В результате решения уравнения получены зависимости амплитуды отраженного сигнала от частоты ультразвуковых колебаний, размера дефекта и толщины

изделия. Для конкретной толщины изделия на основании зависимостей установлены рабочие параметры контроля.

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

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАБОРАТОРНОГО ИМИТАТОРА СВАРОЧНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

Зульфья Хусаиновна Муртазина

Студентка 4 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. В. Коновалов

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Для проведения исследований свариваемости материалов на кафедре сварки МГТУ им. Н.Э.Баумана разработан имитатор сварочных термических циклов с компьютерным управлением, реализующий идею высокоскоростного нагрева образца протекающим током и его ускоренное охлаждение водо-воздушной смесью. Установка включает в себя корпус, рабочую камеру, блок электронного управления и компьютер со специализированным программным обеспечением. В рабочей камере расположены съемные захваты для крепления образца, блок распылителей и поддон для сбора жидкости и ее отвода в дренажную систему. Силовая электрическая часть установки собрана на основе трансформатора от машины контактной сварки и тиристорного контактора. Управление нагревом образца осуществляется за счет регулирования тока, а в качестве датчика температуры используется термopара, включенная в цепь обратной связи блока управления. Система принудительного охлаждения образца состоит из воздушного компрессора, резервуара с водой, системы трубопроводов с электрическими клапанами и блока распылителей в рабочей камере имитатора. В зависимости от толщины образца достигаются скорости охлаждения до 150 К/с, характерные для дуговой сварки.

Для расширения исследовательских возможностей установки было принято решение о доработке ее конструкции с целью превращения имитатора сварочных термических циклов в высокоскоростной дилатометр. Дилатометрический метод основан на регистрации изменений размера выбранной базы дилатации на свободном незакрепленном образце в процессе его нагрева и охлаждения. Для измерения деформаций используется индукционный датчик. Чтобы он не подвергался воздействию высоких температур и других неблагоприятных факторов, сам

датчик вынесен на значительное расстояние, за счет измерительной скобы с безлюфтовым шарниром. Рычаги скобы проходят в камеру через эластичные резиновые пыльники, обеспечивающие герметичность камеры. Для того, чтобы свести к минимуму погрешности от неравномерного нагрева образца, его деформацию решено измерять по ширине в месте приварки термопары. На компьютерную систему управления нагревом возложена дополнительная функция регистрации деформаций и построение дилатометрических кривых.

Описанная конструкция дилатометра достаточно проста и обеспечивает возможность исследования структурных превращений в условиях термических циклов сварки, а так же построение кривых отпуски при длительном нагреве.

Литература

1. *А.В.Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М.Неровного*. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
2. *Макаров Э.Л.* Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.

УДК 621.791.36

РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОТВЕРСТИЯ ПОД ШТИФТ ЛОПАТКИ ГТД ДУГОВОЙ ПАЙКОЙ В ВАКУУМЕ

Вячеслав Юрьевич Орлов

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.М. Неровный

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В авиационных газотурбинных двигателях одним из факторов, определяющих ресурс двигателя, является состояние лопаток. В процессе эксплуатации при попадании инородных тел, теплового воздействия и воздействия эрозии они теряют свою форму, что ведёт к снижению работоспособности двигателя, а в дальнейшем - к дорогостоящей замене лопаток на новые. В зависимости от назначения лопатки делятся на лопатки ротора турбины или рабочие лопатки, и лопатки статора турбины (сопловые лопатки). Сопловые лопатки изготавливают преимущественно из высокожаропрочных литейных сплавов на никелевой основе: ЖС6К, ЖС6У, ЖС6Ф, ЖС32 [1]. Для предотвращения окружного и осевого перемещения в некоторых двигателях лопатки фиксируются в кольцо радиальными штифтами. При эксплуатации и ремонте двигателя отверстия под штифт теряют свою форму и размеры, что требует их обязательного исправления перед сборкой отремонтированного двигателя (Рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид сопловой лопатки с изношенным отверстием под штифт

Технологический процесс восстановления отверстия под штифт может проводиться с общим нагревом в вакуумной печи, а также с локальным нагревом с применением дугового разряда с полым катодом (ДРПК) в вакууме.

Выбор в пользу локального источника нагрева связан с трудностями, возникающими при пайке с общим нагревом: неравномерность теплового поля при сложной геометрической форме лопатки ГТД, длительность нагрева приводит к изменению структуры поверхностного слоя.

Предварительные исследования по восстановлению отверстия под штифт дуговой порошковой напайкой в вакууме для выбора диапазона параметров режима ДРПК показали, что получение требуемого результата экспериментальным путем довольно трудоемко и материально затратно, поскольку стоимость лопаток значительна, а количество их было ограничено. Для сокращения времени и материальных затрат на разработку технологического процесса целесообразно использовать математическое моделирование нагрева зоны пайки.

Цель работы заключается в определении необходимого диапазона параметров режима дуговой пайки для получения на паяемой поверхности требуемого диапазона температурного поля. Определение параметров режима дуговой пайки проводили расчетным путем.

На базе стандартного пакета Mathcad были определены тепловые параметры режима локального источника питания и на основе экспериментальных значений тепловых характеристик ДРПК определили диапазон его параметров режима для высокотемпературной пайки.

Литература

1. *С.И. Яцыка* Производство высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД /М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
2. *Сорокин Л. И.* Свариваемость жаропрочных сплавов, применяемых в авиационных газотурбинных двигателях // Сварочное производство. 1997. № 4. С. 4-11.
3. *Ключников И.П., Гейкин В.А.* Ремонт высоконагруженных деталей и узлов горячего тракта ГТД методом высокотемпературной пайки // Пайка. Современные технологии, материалы, конструкции: Сборник. М.: ЦРДЗ, 2001. Сб. 2. С. 19-24.
4. *Корниенко А.Н., Жадкевич А.М.* Состояние и проблемы внедрения пайки для ремонта лопаток газотурбинных двигателей //Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 10. С. 9-12.
5. *Квасницкий В.Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении. Л.: Судостроение, 1986. 224 с
6. *Неровный В.М., Рогов Р.М.* Дуговая пайка в вакууме с подачей порошкового композиционного припоя // Физика и химия обработки материалов. 1990. №2. С.99-104.
7. *Хорунов В.Ф., Максимова С.В., Зволинский И.В.* Структура паяных соединений высоколегированных никелевых сплавов, полученных с использованием дугового нагрева // Автоматическая сварка. 2003. №7 С.19-22.
8. *Неровный В.М., Ямпольский В.М.* Сварочные дуговые процессы в вакууме. М.: Машиностроение, 2002. 284 с.
9. *Рыкалин Н.Н.* Расчет тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.

УДК 621.791.01.62.19

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕМОНТНОЙ МУФТЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ С УЧЕТОМ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Михаил Александрович Пономарев

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Алексей Сергеевич Куркин

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Основной причиной снижения прочности ремонтных конструкций магистральных нефтепроводов является концентрация напряжений в нахлесточных кольцевых швах приварки ремонтной конструкции к трубе. Высокий уровень напряжений приводит к преждевременному зарождению усталостной трещины. В связи с этим необходимо разработать такую ремонтную конструкцию, в которой концентрация напряжений максимально снижена.

Для обеспечения долговечности ремонтной конструкции часто идут на увеличение толщины стенки муфты и увеличение катета сварных швов. Такой подход является нерациональным, поскольку ведет к утяжелению ремонтной конструкции, увеличению стоимости и сроков ремонта. Изменение геометрии сварного соединения и ремонтной конструкции позволяет продлить срок службы за счет исключения концентрации напряжений без увеличения ее массы и стоимости. Однако кроме эксплуатационных напряжений в сварном соединении действуют остаточные сварочные напряжения.

В данной работе с помощью ПК «Сварка» проведен подбор рациональной геометрии ремонтной муфты с учетом взаимодействия эксплуатационных и остаточных напряжений. Проанализированы различные варианты геометрии тавровых соединений ремонтной конструкции с трубой. Для уменьшения вычислительных затрат использована осесимметричная конечноэлементная модель.

Вначале проведено моделирование многопроходной сварки кольцевого нахлесточного шва между муфтой и трубой. В результате получены остаточные сварочные напряжения. Дополнительные напряжения в нахлесточном соединении создает поперечная усадка расположенного рядом кольцевого стыкового сварного шва.

Затем к этой модели были приложены рабочие нагрузки от внутреннего давления и определены суммарные напряжения от технологических и эксплуатационных факторов. По результатам их анализа предложена рациональная конструкция ремонтной муфты.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
2. *С.А. Куркин* Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: Учеб. пособие для вузов / Под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.

УДК 621.791.36

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БАНДАЖНЫХ ПОЛОК ТИТАНОВЫХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД

Константин Вадимович Попов

*Студент 6 курса**кафедры «Технологии сварки и диагностики»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Неровный В.М.**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Детали газотурбинных двигателей (ГТД) эксплуатируются в жестких условиях: большие растягивающие напряжения, высокие температуры, действия агрессивных сред и знакопеременные нагрузки при вибрации. При этом основным видом повреждения поверхностей (до 84% случаев [1]), приводящим к поломке деталей, является усталостное разрушение. Анализ причин отказов узлов и агрегатов ГТД в ходе их длительной эксплуатации в составе полноразмерных изделий, а также результатов стендовых испытаний, периодически проводимых на авиадвигателестроительных предприятиях [1], показывает, что одной из основных причин зарождения большинства усталостных дефектов, приводящих к разрушению, является фреттинг-износ или фреттинг-коррозия. Особенно остро проблема возникновения и развития этого процесса стоит при эксплуатации лопаток компрессора ГТД с бандажными антивибрационными полками. Следствием износа бандажных полок является постепенное ухудшение рабочих характеристик двигателя [2].

В настоящее время восстановление производят пайкой с индукционным источником нагрева в контролируемой атмосфере [3]. Преимуществами метода являются: локальный нагрев, не оказывающий отрицательное влияние на основной материал лопатки, что позволяет сохранить ее эксплуатационные характеристики. К недостаткам можно отнести сложность наблюдения за процессом пайки, большие затраты на защитный газ-аргон и низкая производительность, так как загрузка лопаток не более 10 штук и пайка производится вручную.

Целью работы является повышение производительности восстановления бандажных полок титановых лопаток в вакууме.

Высокотемпературная пайка с локальным нагревом в вакууме имеет ряд преимуществ [4]:

1. Высокая производительность при автоматизированном процессе.
2. Экономия защитного газа-аргона в 300-500 раз.

Была спроектирована установка для восстановления контактной поверхности бандажных полок титановых лопаток компрессора ГТД дуговой пайкой в вакууме, позволяющая повысить в 2-3 раза производительность по сравнению с базовым процессом, а также повысить качество паяного соединения вследствие применения в качестве защиты вакуум при давлении в камере $(6-8) \cdot 10^{-2}$ Па.

Литература

1. А. Г. Братухин, Ю.Л. Иванов, Б.Н. Марьин Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов в авиастроении / М.: Машиностроение, 1997. 600 с.
2. Корниенко А.Н., Жадкевич А.М. Состояние и проблемы внедрения пайки для ремонта лопаток газотурбинных двигателей // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 10. С. 9-12.
3. И.Е.Петрунина Справочник по пайке / М.: Машиностроение, 2003. 456 с.

4. *Неровный В.М., Ямпольский В.М.* Сварочные дуговые процессы в вакууме. М.: Машиностроение, 2002. 284 с.

УДК 621.791

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Дмитрий Эдуардович Рубцов

Студент 5 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. С. Куркин

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

При моделировании процесса сварки и термообработки важную роль играют фазовые превращения, определяющие свойства металла (теплофизические и механические характеристики). Наиболее доступной информацией о сплаве является его химический состав. Поэтому средства определения параметров превращений в зависимости от химического состава имеют большую практическую ценность.

В общем случае превращение аустенита в феррито-перлитную и бейнитную фазы носит диффузионный характер и развивается во времени в определенных температурных интервалах. Кинетику превращений описывают степенным уравнением Аврами.

Превращение аустенита в мартенсит носит бездиффузионный характер и зависит от степени переохлаждения и от температуры начала превращения. Кинетику превращений описывают степенным уравнением Костина-Марбургера.

В результате обработки диаграмм [2,4,5] получены регрессионные модели [3] температур начала и конца каждого превращения, а также параметры, определяющие кинетику феррито-перлитного, бейнитного и мартенситного превращений [1].

Для сопоставления с экспериментом была построены термокинетические диаграммы в ПК «Сварка» для ряда легированных сталей [1]. Совпадение можно считать удовлетворительным, если принять, что обнаруживаемое при экспериментах начало превращения в действительности соответствует появлению около 5% новой фазы.

Литература

1. *Куркин А.С., Макаров Э.Л., Куркин А.Б.* Численное моделирование фазовых превращений при решении задач термопластичности // Сварка и диагностика. 2012. № 6. С. 18-23.
2. *P.Seyffarth, G.Kuscher.* Schweiss-ZTU-Schaubilder. Berlin: Veb Verlag Technik. 1983. 236 s.
3. *Касаткин О.Г., Зайффарт П.* Интерполяционные модели для оценки фазового состава зоны термического влияния при дуговой сварке низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 1984. № 1. С. 7-11.
4. *J.Brozda, J.Pilarczyk, M.Zeman.* Spawalnicze wykresy przemian austenitu СТрс-S. Katowice: "Slask". 1983. 140 s.
5. *Попова Л.Е., Попов А.А.* Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-растворах в сплавах титана. М.:Металлургия. 1991. 504 с.

УДК 621.791

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Михаил Эдуардович Рубцов

Студент 5 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А. С. Куркин

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Идентификация моделей параметров фазовых превращений требует огромного объема экспериментальных исследований, поэтому решение задачи возможно только с привлечением литературных данных [1]. Статистическая обработка позволяет скомпенсировать ошибки и неточности, неизбежно присутствующие в таких данных.

В качестве источников экспериментальных данных для определения параметров фазовых превращений сталей были выбраны атласы диаграмм распада аустенита отечественных [5] и иностранных авторов [2,4]. Важно, что стали испытывались в условиях сварочного термического цикла с высокой температурой нагрева (до 1350 °С). Весьма качественные диаграммы сталей российских и зарубежных марок были представлены в атласе немецкого ученого П.Зайффарта [2].

При обработке диаграмм следует иметь в виду неточность и несогласованность существующих визуальных методов анализа итогового фазового состава по микрошлифам. Наиболее надежными и объективными являются результаты измерения твердости, с твердостью хорошо коррелирует ряд других механических свойств материала [3]. Именно твердость была выбрана в качестве критерия итогового фазового состава образца. В связи с этим были построены регрессионные зависимости твердости от химического состава для каждой фазы легированных сталей.

Сопоставление реальных температурных интервалов легированных сталей с расчетными позволило не только оценить построенные модели, но и сопоставить между собой данные, опубликованные в литературе. Были выявлены расхождения в несколько десятков градусов при сопоставлении данных из разных источников. Это показывает актуальность работ по совершенствованию моделей.

Для построения регрессионных моделей параметров уравнения Авраами, описывающего феррито-перлитное и бейнитное превращения, были использованы зависимости итогового фазового состава от скорости охлаждения.

Литература

1. Куркин А.С., Макаров Э.Л., Куркин А.Б. Численное моделирование фазовых превращений при решении задач термопластичности // Сварка и диагностика. 2012. № 6. С. 18-23.
2. P.Seyffarth, G.Kuscher. Schweiss-ZTU-Schaubilder. Berlin: Veb Verlag Technik. 1983. 236 s.
3. Касаткин О.Г., Зайффарт П. Интерполяционные модели для оценки фазового состава зоны термического влияния при дуговой сварке низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 1984. № 1. С. 7-11.
4. J.Brozda, J.Pilarczyk, M.Zeman. Spawalnicze wykresy przemian austenitu СТРс-S. Katowice: "Slask". 1983. 140 s.
5. Попова Л.Е., Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-растворах в сплавах титана. М.:Металлургия. 1991. 504 с.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ БАББИТА НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ И АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ

Полина Валерьевна Сорокина

Студентка 5 курса

кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Роман Сергеевич Михеев

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии 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. Увеличение сроков службы машин, напрямую зависит от повышения износостойкости. Поэтому реальный ресурс работы машины напрямую зависит от качества поверхностного слоя.

Качество поверхностного слоя подшипников скольжения (ПС) зависит от материала покрытия, метода нанесения, соблюдения технологического процесса и др.

При изготовлении вкладышей ПС наиболее широко применяют антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основе (баббиты). Антифрикционные материалы предназначены для изготовления подшипников (опор) скольжения, которые широко применяют в современных машинах и приборах из-за их устойчивости к вибрациям, бесшумности работы, небольших габаритов, возможности работать при высоких скоростях вращения и нагрузках, в воде и в агрессивных средах, малой чувствительности к ударным нагрузкам.

В настоящее время для нанесения антифрикционных сплавов на основе баббита применяется литьё, и в редких случаях дуговая наплавка неплавящимся электродом и напыление. Одной из существенных причин выхода ПС из строя является некачественная заливка баббита (плохое приставание баббита к поверхности вкладыша, пористость и др.). Дуговая наплавка является малопродуктивным процессом, при напылении наблюдается повышенное порообразование и недостаточная адгезионная прочность.

Исходя, из анализа технологий нанесения баббита на изношенную поверхность, в данной работе предлагается применение технологии плазменно-порошковой наплавки. Данная технология обладает рядом преимуществ: высокая производительность (до 10 кг/ч); высокое качество наплавленного металла; малая глубина проплавления основного металла (до 5%); минимальные потери присадочного материала; возможность наплавки относительно тонких слоев (0,5-5,0 мм).

В ходе научно-исследовательской работы, были проведены опыты по определению влияния параметров режимов плазменно-порошковой наплавки и технологических операций на порообразование и адгезионную прочность.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

УДК 621.791.754**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ВЛАГООТДЕЛИТЕЛЯ**

Юрий Александрович Стогов

*Студент 6 курса**кафедра «Технологии сварки и диагностики»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Александр Михайлович Рыбачук**кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В настоящее время наиболее рациональным способом выполнения стыковых швов является односторонняя однопроходная сварка. Ограниченность сил поверхностного натяжения, удерживающих жидкий металл сварочной ванны, а так же необходимость получения шва с минимальной (допустимой) высотой провисания, заставляют выполнять дополнительные работы по обработке кромок с целью получения разделки кромок и дальнейшей заправке удаленного из разделки участка. Предельная толщина листов, свариваемая на весу за один проход с полным проплавлением, на порядок меньше толщины листов, которую можно сваривать современными способами дуговой сварки. Для полного использования возможностей дуговых способов при сварке стыковых швов и значительного повышения производительности и качества необходимо использовать способы удержания жидкого металла сварочной ванны.

Для удержания сварочной ванны и получения шва нужной формы можно использовать любую из сил, действующих на ванну. По воздействию на объем жидкого металла сварочной ванны эти силы можно подразделить на поверхностные и объемные (массовые). Наиболее простым и действенным способом регулирования массовых сил является введение в сварочную ванну поперечного магнитного поля при помощи четырехполюсной магнитной системы, для создания силы, направленной вверх или вниз в зависимости от взаимного направления магнитного поля и сварочного тока.

Предлагаемый метод можно использовать для выполнения стыковых соединений труб, пластин, сосудов различной цилиндрической и сферической формы.

Изделие, подлежащее сварке – корпус влагоотделителя, выполненный из стали 08X18H10T с толщиной стенки 2 мм. Ранее для изготовления корпуса применялась ручная аргонодуговая сварка с присадочной проволокой. Предлагается внедрить в производство корпусов автоматическую сварку с использованием четырехполюсной магнитной системы, что позволит сократить количество дальнейших механических операций и положительно повлиять на эксплуатационные характеристики сварного соединения, такие как коррозионная стойкость и стойкость к восприятию динамических нагрузок.

Литература

1. *А.В. Коновалов* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. *В.М. Неровного*. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
2. *Чернышов Г.Г., Рыбачук А.М.* Параметры технологических процессов сварки и качество соединений: Учебное пособие / Под ред. *Г. Г. Чернышова*. М.: Изд-во МГТУ, 1991. 72 с.
3. *Акулов А.И., Рыбачук А.М.* Удержание жидкого металла сварочной ванны поперечным магнитным полем // Сварочное производство. 1972. №2.
4. *Рыжов Р.Н., Кузнецов В.Д.* Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки (обзор) // Автоматическая сварка. 2006. №10.

УДК 620.179.1

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДИКИ АКУСТО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ШАР-БАЛЛОНОВ

Александр Сергеевич Фадин

Студент 6 курса

кафедры «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 производстве агрегатов и элементов ракетносителей и космических аппаратов наблюдается переход от серийного выпуска к единичному или мелкосерийному производству. Эти обстоятельства требуют повышения роли технологических процессов неразрушающего контроля (НК) на всех этапах производственного цикла создания изделий ракетно-космической техники (РКТ). Научно-технический, производственный опыт отрасли свидетельствуют, что для подтверждения качества, надежности агрегатов, деталей сборочных единиц (ДСЕ) изделий РКТ необходимо использовать все возможные методы и средства НК.

В процессе производства ДСЕ, а именно шар-баллонов, возможно возникновение дефектов типа трещин (трещины, непровары, надрезы и т.д.), способных привести узел к разрушению или отказу. Прочностные контрольно-технологические испытания (КТИ) шар-баллонов предусматривают их нагружение рабочими и испытательными нагрузками. В условиях воздействия нагрузок дефекты основного материала и сварных соединений претерпевают раскрытие, а иногда подрастание, что можно использовать для повышения их выявляемости.

Новое поколение цифровых приборов позволяет использовать методы дефектоскопии с большей информативностью и оперативностью. Компактность и многофункциональность современной аппаратуры позволяют применять ее в новых технологических процессах.

Совмещение акусто-эмиссионного (АЭ) метода с процессами прочностных испытаний позволит повысить объективность контроля, выявляемость дефектов, повысить информативность, оперативность контроля, предотвратить пропуск скрытых дефектов, влияющих на прочность и герметичность шар-баллонов. При этом возрастает вероятность сохранения материальной части и сокращения продолжительности производственного цикла.

Новизной в решении проблемы НК изделий РКТ является совмещение технологий дефектоскопии и КТИ, т.е. использование АЭ метода совместно с прочностными испытаниями изделий, что обеспечит более высокий уровень оценки технического состояния объекта и надежности контроля.

Для решения этой задачи были решены следующие задачи:

Были выбраны типовые конструкции шар-баллонов для создания технологии неразрушающего контроля при прочностных испытаниях. Обоснован выбор средства НК, перспективного для разработки технологического процесса, совмещенного с прочностными испытаниями. Разработаны технические предложения для технологических процессов АЭ контроля шар-баллонов, совмещенных с прочностными испытаниями. Выбран и обоснован выбор акусто-эмиссионной системы для выполнения исследований с компьютеризацией сбора и обработки данных. Изготовлены образцы для проведения работ по испытаниям метода АЭ в создаваемой технологии неразрушающего оперативного контроля. Сформулирована связь АЭ с процессами, протекающими в материале при различных условиях нагружения. Произведена оценка информативности метода НК и выбраны критерии, определяющие степень опасности

дефектов по параметрам АЭ. Были предложены технические предложения на доработку серийно выпускаемой аппаратуры АЭ. Предложен алгоритм определения браковочных параметров АЭ контроля шар-баллонов.

Литература

1. *А.Н.Серьезнов* Микропроцессорная АЭ-система для прочностных испытаний авиационных конструкций / Дефектоскопия. 2002. №2. С. 53-61.
2. *Степанова Л.Н., Рамазанов И.С., Канифадин К.В.* Определение опасных источников сигнала акустической эмиссии по оценке энергии кластеров // Дефектоскопия. 2010. №9. С. 64-73.
3. *Кареев А.Э., Степанова Л.Н., Тенишилов Е.С.* Влияние погрешностей координат установки датчиков пьезоантенны на точность локализации источников сигналов акустической эмиссии // Дефектоскопия. 2010. №11. С.21-28.

УДК 621.791.014

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБ МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Максим Андреевич Шиманаев

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Коберник Н.В.

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящий момент соединение между собой отдельных агрегатов промышленных предприятий, транспортирующих как сырье, так и готовый продукт, требует большого числа трубопроводов. Поэтому, даже на одном заводе, общая протяженность технологических трубопроводов может достигать нескольких километров.

На объектах такого типа, из-за относительно небольшого диаметра трубопроводов (обычно Ду 80 – 150), для сварки неповоротных кольцевых стыков применяют сварочные головки автоматической аргонодуговой сварки открытого типа, что требует разделки кромок. Предлагается использовать вместо аргонодуговой сварки способ плазменной сварки, который позволяет сваривать толщины до 10 мм без разделки кромок, а также уменьшить зону термического влияния, что будет являться важным при сварке труб из различных типов сталей.

Объектом исследования является технология плазменной сварки неповоротных стыков труб малого диаметра из низкоуглеродистых сталей. Цель работы - повышение производительности сварки неповоротных стыков труб малого диаметра из низкоуглеродистых сталей за счет применения плазменных процессов.

В процессе работы проводилась экспериментальная отработка параметров режима плазменной сварки на трубах малого диаметра в четырех пространственных положениях (нижнее, вертикальное «на подъем», вертикальное «на спуск», потолочное).

В результате исследования получены диапазоны параметров режима плазменной сварки, при которых осуществляется формирование сварного шва в нижнем положении. На примере плазменной и аргонодуговой сварки изучено влияние способа сварки на макро- и микроструктуру металла шва. Установлено влияние основных параметров режима на формирование сварного шва в различных пространственных положениях.

Литература

1. *Чернышов Г.Г.* Технология электрической сварки плавлением: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 448 с.
2. *Малаховский В.А., Попков Ю.А., Листишиенков А.П.* Исследование возможности плазменной сварки изделий из высокопрочных сталей толщиной 16 – 18 мм. // Сб. научных трудов Челябинского политехнического института. 1981. № 266. С.114 – 117.
3. *Бердавский Я.Г., Мальченко А.П., Тейтельбаум А.Х.* Исследование влияния параметров режима плазменной сварки стали в углекислом газе на некоторые характеристики сварных швов // Сварочное производство. 1987. № 1. С.12.
4. *Клопков А.И., Храмушин В.А., Каменская Н.И.* Влияние защитной атмосферы дуги на технологические параметры сварных соединений // Энергетическое строительство. 1981. № 8. С.56 – 58.
5. *Коротеев А.С., Миронов В.М., Свирчук Ю.С.* Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет. М.: Машиностроение, 1993. 296 с.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРИ НАПЛАВКЕ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ СИСТЕМЫ FE-AL

Владимир Геннадьевич Широкоград

Студент 6 курса

кафедра «Технологии сварки и диагностики»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Роман Сергеевич Михеев

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

Развитие машиностроения и промышленности выдвигает новые требования к конструкциям и их характеристикам. Они должны обладать не только прочностью и надежностью, но быть легкими и энергоемкими. Сочетания этих свойств можно достичь как созданием новых видов материалов, так и за счет применения в конструкциях узлов из разнородных металлических материалов. Одной из разновидностей таких узлов, используемых в автомобилестроении, судостроении и других областях машиностроения, являются соединения стали с алюминием, позволяющие объединить высокие прочность и коррозионную стойкость в сочетании с низкой массой и пластичностью, достаточной для последующей обработки давлением.

В автомобилестроении тенденция замены стали алюминиевыми сплавами наметилась уже более 25 лет назад. Подсчитано, что снижение массы автомобиля на 100 кг в среднем экономит 0,3 л бензина на 100 км пробега [1]. В судостроении замена стали алюминиевыми сплавами позволяет уменьшить массу судна и понизить центр тяжести, а также обеспечивает такие важные преимущества, как высокая коррозионная стойкость и исключение намагничиваемости. Из алюминиевых сплавов изготавливают корпусные конструкции (преимущественно, легких судов), а так же надстройки, рубки, мосты, кожухи дымовых труб, переборки, выгородки и др. [2]. Широкое применение алюминиевые сплавы нашли и в производстве подвижного железнодорожного состава. Так в Европе из алюминиевых сплавов изготавливают около 80% железнодорожных вагонов [3].

Наряду с разнородными корпусными деталями широкое применение в промышленности получили биметаллические подшипники скольжения, состоящие из стальной основы и нанесенного на ее поверхность алюминиевого антифрикционного слоя, обеспечивающего низкий коэффициент трения и высокую сопротивляемость изнашиванию. Разработанные за последнее время гетерофазные композиционные материалы (КМ) на основе алюминиевых сплавов, армированные дискретными керамическими частицами, обладают лучшим сочетанием триботехнических свойств, что оправдывает возможность их применения взамен традиционных антифрикционных материалов [4,5].

Однако создание новых, уникальных по своим характеристикам конструкций, затрудняется плохой свариваемостью между алюминием и сталью. Это обусловлено различиями в теплофизических свойствах металлов (температура плавления, коэффициент теплового расширения, теплопроводность и др.), наличием оксидной пленки на поверхности алюминия, а так же образованием слоя интерметаллидных (ИМ) фаз системы Fe_xAl_y , ввиду крайне низкой взаимной растворимости алюминия в железе. Рост ИМ в зоне сплавления начинается при температурах более 823 К. Причем, данный слой обладает высокой твердостью и малой пластичностью, что приводит к образованию трещин в процессе кристаллизации сварочной ванны и, как следствие, разрушению соединения.

Увеличить прочность соединения возможно за счет контроля толщины и химического состава ИМ слоя. По данным исследований удовлетворительное по прочности соединение стали с алюминием достигается при толщине ИМ слоя не более 10 мкм [6]. Регулировать толщину ИМ слоя возможно путем ограничения тепловложения в зону сварки (наплавки) с помощью различных технологических приемов, включающих применение импульсных процессов, а также процесса сварко-пайки, характерной чертой которого является расплавление присадочного наплавляемого материала, в то время как основной материал находится в твердом состоянии. Введение в зону наплавки дополнительных легирующих элементов, а также наличие барьерных покрытий способствует образованию тройных соединений и уменьшению твердости интерметаллидного слоя. Комбинирование этих способов позволяет получить удовлетворительные прочностные характеристики сварных сталеалюминиевых конструкций.

Литература

1. *U. Reisinger, L. Stein, M. Steiners et al.* Schwingverhalten von mit modifiziertem MSG-Kurzlichtbogenprozess gefuegten Stahl-Aluminium-Mischverbindungen / Schweiß und Schneiden. 2010. 62, № 7/8. S. 396-399.
2. *А.С. Орыщенко, Е. П. Осокин, В.И. Павлова, С.А. Зыкова* Биметаллические сталеалюминиевые соединения в судостроительных корпусных конструкциях/ Автомат. сварка. 2009. №10. С.43-47.
3. *И.Н. Фриндлер, В.Г. Систер, О.Е. Грушко и др.* Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении/ Материаловедение и терм. обработка. 2002. №9. С.3-9.
4. *Чернышова Т.А., Михеев Р.С.* Алюмоматричные композиционные материалы с карбидным упрочнением для решения задач новой техники // М.: Маска, 2013. 356 с.
5. *Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Лемешева Т.В.* Дисперсно наполненные композиционные материалы на базе антифрикционного силумина для узлов трения скольжения// Перспективные материалы. 2004. №3. С.69-75.
6. *M. Kreimeyer, G. Sepold.* Laser steel joined aluminium-hybrid structures// Proceedings of ICALEO'02, Jacksonville, USA, 2002.

Секция VIII

Материаловедение в машиностроении

Председатель:

Плохих Андрей Иванович

заместитель заведующего кафедрой МТ-8, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» (МТ-8)

Ученый секретарь:

Шевченко Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-8

УДК 621.785.53:620.178.16

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ

Вусал Мубариз оглы Агаев

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Фахуртдинов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Проблема совершенствования технологии производства авиационных зубчатых передач одна из важнейших в авиастроении. От их надежной работы зависит живучесть авиационного двигателя и в технологии упрочнения зубчатых передач возрастает в связи со значительным ростом силовой и тепловой напряженности при разработке газотурбинных двигателей нового поколения. Выполнение требований высокого ресурса долговечности и эксплуатационной надежности диктует необходимость применения для цементуемых зубчатых колес новых более высокопрочных сталей и новых эффективных процессов термической и химико-термической обработки.

К настоящему времени наиболее прочными среди цементуемых сталей являются стали ВКС-10, ВКС-5 и ВКС-7, статическая прочность которых составляет от 1200 до 1400 МПа. Для зубчатых колес высоконагруженных передач такой уровень прочности становится недостаточным.

Ставится задача по разработке высокопрочных дисперсионно-твердеющих сталей с уровнем статической прочности не менее 1800 МПа, ударной вязкостью не менее 0,65 МДж/м² и уровнем теплостойкости не менее 500 °С при 100 часовой выдержке.

Важным средством повышения свойств сталей является комплексное легирование, включающее определенное сочетание карбидообразующих элементов с повышенным количеством никеля и кобальта.

В работе представлены исследования влияния химического состава и технологии термической обработки на структурный, фазовый состав и механические свойства новых высокопрочных цементуемых сталей (Cr-Ni-Co-Mo-PЗМ), разработанных специалистами ФГУП «ВИАМ». Объектами исследования служили образцы сталей размерами 10x10x55 мм.

Необходимый уровень теплостойкости обеспечивали термической обработкой сталей на вторичную твердость. Исследованиями влияния температуры нагрева под закалку (1020, 1030, 1050 °С) на твердость установлена оптимальная температура закалки сталей – 1030 °С, обеспечивающая максимальное значение твердости – (50 – 54) HRC. После закалки проводили отпуск на вторичное твердение при температуре 530 °С, 2 часа с охлаждением на воздухе, обработку холодом при температуре минус 70 °С, 2 часа и отпуск для снятия напряжений при температуре 500 °С, 2 часа.

После термической обработки структура сталей состояла из отпущенного малоуглеродистого мартенсита, остаточного аустенита и мелкодисперсных частиц карбидных фаз.

Структурный состав и свойства сталей существенно зависят от содержания никеля, кобальта и наличия PЗМ.

Кобальт и никель увеличивают количество остаточного аустенита в структуре закаленной стали, что создает условия для выделения повышенного количества дисперсных частиц специальных карбидов при его распаде и, как следствие, приводит к увеличению

прочностных свойств. Повышение концентрации кобальта от 3,8 до 9,1 % увеличивает содержание аустенита с 4 до 7 %, приводит к повышению предела прочности на 6 %, предела текучести - на 11 % и незначительному снижению относительного удлинения и ударной вязкости. Кобальт и РЗМ повышают теплостойкость стали, так как задерживают процессы выделений частиц карбидов при отпуске, затрудняют коагуляцию выделившихся частиц, сдвигают начало снижения твердости в область более высоких температур. Однако повышенное (до 10 - 12 %) количество никеля нежелательно. При таком его содержании возрастает количество остаточного аустенита (до 35 %), что приводит к существенному снижению прочности и пластичности.

Оптимальное содержание никеля в сталях составляет (6,5 – 6,8) %, кобальта – (8,5 – 9,5) %, суммарное количество карбидообразующих элементов – (6,5 – 7,5) %, суммарное количество РЗМ – (0,078 - 0,082) %. Сталь такого состава после термической обработки обеспечивает требуемое высокое значение предела прочности $\sigma_B=(1870 - 1897)$ МПа, ударной вязкости – $KCU=(0,69 - 0,78)$ МДж/м². Предел текучести достигает высоких значений $\sigma_{0,2}=(1520 - 1550)$ МПа.

Литература

- 1 *Елисеев, Ю.С.* Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин и др. М.: Выс. шк., 2001. - 493 с.
- 2 *Рыжов, Н.М.* Управление насыщенностью углеродом диффузионного слоя при вакуумной цементации теплостойких сталей / Н.М. Рыжов, А.Е Смирнов, Р.С. Фахуртдинов // МиТОМ, 2004. - № 8.- С. 22-27.
- 3 *Рыжов, Н.М.* Вакуумная цементация хромоникелевой стали / Н.М. Рыжов, А.Е Смирнов, Р.С. Фахуртдинов // МиТОМ, 2008. - № 2. С. 25-29.

УДК 621.791.92

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ПОРОШКОВ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И НИКЕЛЯ

Анастасия Андреевна Александрова

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.О. Базалева

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Известно, что лазерная наплавка является перспективным методом восстановления изношенных деталей, создания защитных покрытий, кроме того, она может быть использована для прототипирования трехмерных деталей. Процесс основан на синхронной коаксиальной подаче на поверхность детали тонкой струи порошка и лазерного луча. Под действием лазерного луча происходит перекристаллизация подаваемого порошкового материала, а также тонкого поверхностного слоя самой детали. Область воздействия лазера на поверхность составляет доли миллиметра, однако лазер может сканировать поверхность детали, создавая таким образом из подаваемого порошка сплошное покрытие. Основными технологическими параметрами данного процесса являются мощность лазерного пучка, скорость сканирования лазера по поверхности детали, а также диаметр фокусирующего пятна на ее поверхности [1].

В данной работе исследовалась структура износостойких покрытий, полученных методом лазерной наплавки порошковых материалов на основе карбида вольфрама и никелевого самофлюсующегося сплава. Используемые для наплавки порошки имели состав $W-5.5\%C-12\%Co$ и $Ni-7.5\%Cr-2.5\%Fe-1.6\%B-3.5\%Si$, их дисперсность составляла $53\div 106$ и $53\div 150$ мкм, соответственно, и они были получены методом газовой атомизации. Покрытие наносилось на стальную подложку. Мощность лазера составляла 1500 Вт. Были исследованы три покрытия с различным соотношением в составе карбида вольфрама и никелевой матрицы.

Фазовый состав наплавленных покрытий исследовался методом рентгендифракционного анализа на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы Bruker AXS в фильтрованном $Co\ K\alpha$ – излучении. Структура наплавленных слоев изучалась методом металлографического анализа; оценивалось распределение карбидных частиц по объему наплавленного слоя. Кроме того, определялись значения микротвердости по глубине наплавленного слоя. Измерения микротвердости проводились с нагрузкой 10 г, чтобы иметь возможность оценить твердость разных структурных составляющих. Погрешность измерения микротвердости составляла 5%.

Металлографический анализ показал, что в структуре сплава присутствуют темные частицы округлой формы с размытыми границами, равномерно распределенные по матрице, предположительно, карбиды вольфрама и более светлая матрица с дендритным строением, которая, предположительно, представляет собой никелевую основу. Трещин в структуре не наблюдается, однако зафиксировано небольшое количество пор.

В результате рентгеновского фазового анализа было установлено, что в сплаве присутствуют частицы гексагонального карбида WC , никелевый твердый раствор с ГЦК решеткой, а также, предположительно, интерметаллидная фаза $(Co,Fe)_7W_6$.

Значение микротвердости карбидных частиц составляет примерно $1100\ HV_{0.01}$, и оно одинаково во всех исследованных покрытиях и практически не изменяется по глубине наплавленного слоя. Значения микротвердости матрицы сильно возрастают по мере удаления от подложки. Так, около подложки она составляет примерно $700\ HV_{0.01}$, а у поверхности – $900\ HV_{0.01}$. Такие высокие значения микротвердости никелевого твердого раствора указывают на его высокое пересыщение.

Литература

1. Мисюров А.И., Федоров Б.М. Технология лазерной наплавки // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. <http://www.mirprom.ru/public/metody-i-primeneniye-lazernoy-naplavki.html>
3. <http://www.mirprom.ru/public/lazernaya-naplavka-poverhnosti.html>

УДК 620.186.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛИ У8 ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ

Антон Сергеевич Базунов

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Дегтярева А.Г.

Ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Актуальной проблемой в машиностроении является повышение надёжности узлов трения. К таким деталям машин предъявляются высокие требования по износостойкости трущихся поверхностей, а также по высокой динамической прочности всего изделия. Процесс деформирующего резания заключается в подрезании материала поверхностного слоя детали и последующей деформации подрезанного слоя рабочими поверхностями режущего инструмента. При деформирующем резании подрезанный слой полностью не отделяется от заготовки и в виде ребра остается на ней. Наличие жесткой связи подрезанного слоя с основой заготовки позволяет целенаправленно производить его пластическую деформацию рабочими поверхностями режущего инструмента. По сути, образующиеся ребра - это не отделившаяся от заготовки стружка. Метод деформирующего резания реализуется инструментом типа проходного резца на стандартном металлорежущем оборудовании. Поскольку стружка не образуется, метод является безотходным. В результате на поверхности заготовки получается регулярная структура с вертикальными или наклонными слоями.

В качестве материала исследования использовалась сталь У8. Исходной заготовкой являлся вал (состояние поставки – нормализация). Были вырезаны образцы в количестве 9 штук. Для 3-х образцов была проведена закалка по стандартной технологии (нагрев до 780°C, выдержка 15 минут и охлаждение в воде) и последующий отпуск 200, 400, 600°C соответственно. Остальные 6 штук обрабатывали деформирующим резанием и исследовали влияние отпуска на их структуру и микротвердость.

Проведен сравнительный анализ образцов без деформирующего резания после термической обработки с образцами, обработанными деформирующим резанием и последующим отпуском.

Для исследования проводилась термическая обработка, подготовка шлифов, измерение микротвердости и исследование микроструктуры.

На оптическом микроскопе было проведено исследование микроструктуры сердцевины, переходной зоны, прирезцово́й зоны ребра, свободной зоны ребра и в середине ребер данных образцов. На рисунке 1 представлена фотография микроструктуры образца после деформирующего резания без термической обработки.

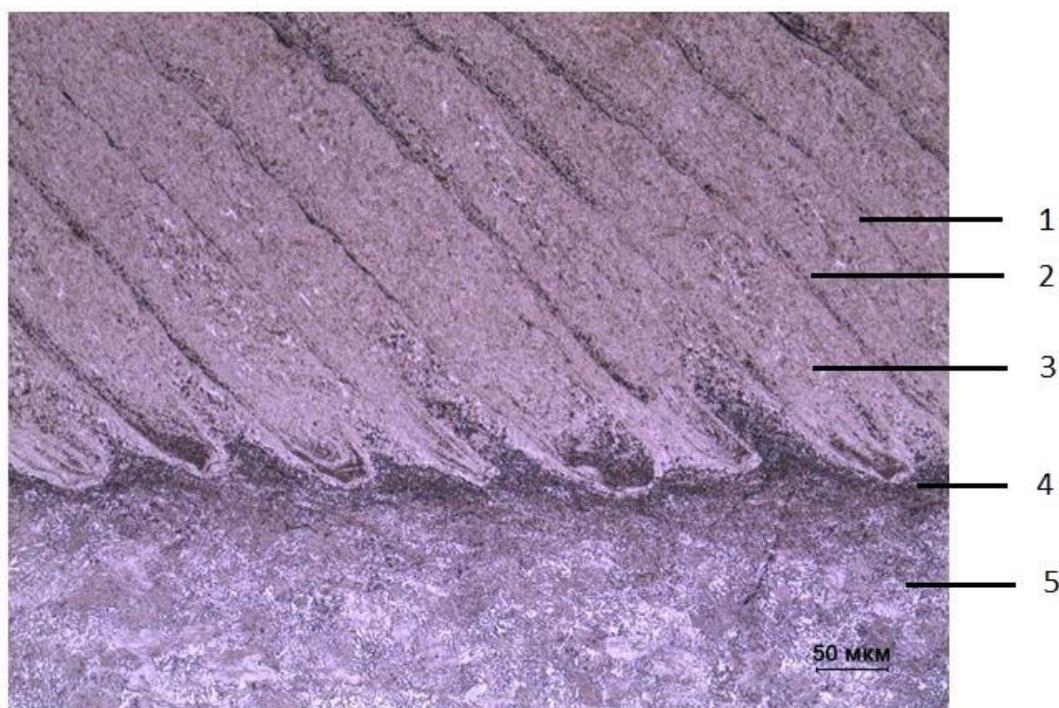


Рис. 1. Микроструктура стали У8 после обработки деформирующим резанием.

- 1 – Прирезцовая зона
- 2 – Свободная зона
- 3 – Середина ребра
- 4 – Переходная зона
- 4 – Сердцевина

Было проведено измерение микротвердости в различных зонах образцов: в сердцевине, по длине произвольно выбранных ребер, в переходной зоне.

В результате данной работы было установлено, что при повышении температуры отпуска, значения микротвердости образцов снижаются. Также было выявлено, что в стали У8 без деформирующего резания (закалка+отпуск) значения микротвердости ниже, чем на образцах с деформирующим резанием(+отпуск).

Литература

1. Дегтярева А. Г., Попцов В.В., Симонов В.Н., Васильев С.Г., Варламова С.Б. Формирование закаленных структур в стали 35 методом деформирующего резания.
2. Варламова С. Б., Дегтярева А. Г., Попцов В. В. Влияние термической обработки на структуру и микротвердость стали 35 после обработки методом деформирующего резания / жур. Молодёжный Научно-технический вестник от 09.2014.
3. Зубков Николай Николаевич, Овчинников Александр Иванович, Васильев Сергей Геннадьевич, Симонов Виктор Николаевич, Хасянов Мансур Абудякирович Патент 2015202РФ. Способ упрочнения поверхности детали / (РФ) Оpubл. 30.06.1994.
4. Зубков Н.Н., Овчинников А.И. Патент 2044606 РФ. Способ получения поверхностей с чередующимися выступами и впадинами и инструмент для его реализации / (РФ).- Оpubл.13.06.94 г. Бюл. № 27, 1994.

УДК 621.792.4

ПЛАКИРОВАНИЕ УГЛЕПЛАСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЛИСТОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Иван Васильевич Безин, Николай Николаевич Зубков

студент 4 курса

кафедра «Металлорежущие станки и оборудование»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.Н. Зубков

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

Расширяющиеся объемы применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) вызваны рядом их преимуществ по сравнению с металлами и их сплавами. Однако существенные недостатки ПКМ, такие как невысокая твердость и износостойкость, малая величина ударной вязкости, низкая теплостойкость и др., не позволяют отказаться от деталей, требующих специальных свойств присущих только металлам.

Часто за функциональность детали отвечает ее поверхностный, контактный слой. Это касается деталей, подверженных трению, различным видам износа, контактными нагрузкам. В данном случае поверхностное плакирование ПКМ листовым материалом является эффективным методом повышения их функциональных характеристик. Вопрос соединения деталей, изготовленных из полимерных композиционных материалов, с металлическими частями сейчас является одним из самых малоизученных. В большинстве случаев – это клеевое

соединение или присоединение армирующего слоя непосредственно в процессе полимеризации связующего композита.

Для обеспечения прочности стыка металл-ПКМ проводятся операции, направленные на создание искусственных поверхностных неровностей, шероховатостей на стыкуемых плоскостях, но более надежные соединения достигаются путем выполнения на металле микроэлементов – игл, крючков, гребенок и т.д. (рис.1) [1]. Актуальной является проблема миниатюризации и повышения технологичности изготовления таких крепежных элементов.

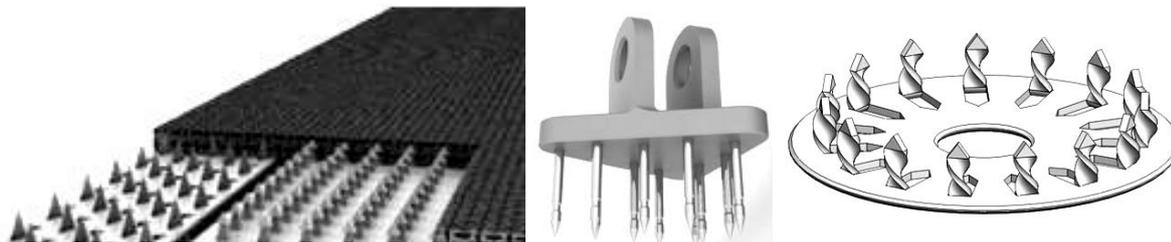


Рис. 1. Крепежные микроэлементы для соединения металла с ПКМ [1]

Наиболее перспективно получение миниатюрных крепежных элементов методом деформирующего резания (ДР) с формированием регулярного мелкошагового микро- или макрорельефа с большим отношением его высоты к шагу. Метод ДР основан на одновременном подрезании поверхностных слоев и их пластическом деформировании. Подрезанный слой не отделяется полностью от заготовки, сохраняя с ней связь по своей узкой стороне. Совокупность подрезанных поверхностных слоев, которые сохранили сплошность своего соединения с заготовкой, образует на обработанной поверхности детали развитый микро- или макрорельеф в виде оребрения (рис.2) [2].

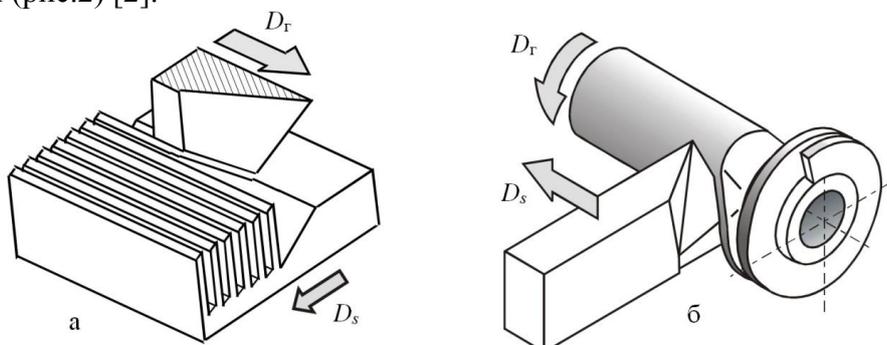


Рис. 2. Принцип деформирующего резания

В работе проведен теоретический анализ по оптимизации размеров впадины микрорельефа, выведены аналитические зависимости выбора необходимой глубины межреберного зазора в зависимости от адгезионной и когезионной прочности связующего. Проведены испытания на прочность образцов углепластика с односторонним плакированием тонкими листами из коррозионностойкой стали аустенитного класса. Металлический лист имел микрорельеф в виде мелкошагового оребрения (рис.3а). Присоединение листа осуществлялось вакуумной инфузией в процессе изготовления образца. Испытания проводились на копре с определением энергии разрушения, а также на уголкового отслаивания и отслаивания индентором. По результатам испытаний все образцы с микрорельефом показали значительное повышение прочности связи металла с углепластиком. При этом наблюдалось изменение механизма разрушения с адгезионного на когезионный. Т.е. разрушение происходило без отслоения от металла по слоям углеткани (рис.3б), либо разрушалось эпоксидное связующее по вершинам ребер. Отмечено кратное повышение прочности соединения металл-композит по сравнению со штатными технологиями подготовки поверхностей под склеивание.

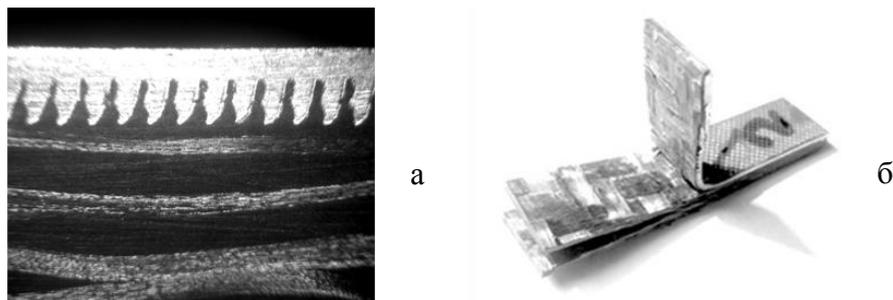


Рис. 3. Поперечный срез плакированного металлом углепластика (а) и вид образца с плакирующим слоем после испытания на копре (б)

Литература

1. Черващенко А.С. Конструктивно-технологические решения соединений металл-композит, работающих на отрыв //Сборник научных трудов ХАИ «Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов». – Выпуск 1 (73). – Харьков «ХАИ». – 2013. –С.14-20.
2. Зубков Н.Н. Особенности реализации метода деформирующего резания // Технология машиностроения.– 2001.–№1.– С.19.

УДК 54.057

НОВЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО БИОВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ

Иван Викторович Бессонов⁽¹⁾, Виталий Игоревич Солодилов⁽²⁾

Аспирант 3 года⁽¹⁾, инженер⁽²⁾
кафедра «Химии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Голубев

доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химии»

В последние годы прикладываются значительные усилия по расширению ассортимента ценных химических продуктов из растительного биовозобновляемого сырья. Один из таких продуктов – фурфурол, получаемый кислотнo-катализируемой дегидратацией полисахарид-содержащих отходов сельскохозяйственного производства [1, 2].

Данная работа посвящена изучению химических и физико-механических свойств фурфуролацетоновой смолы в качестве активного разбавителя эпоксидной смолы.

Фурфуролацетоновые смолы представляют собой сложную смесь продуктов, образующихся при катализируемой основанием конденсации фурфурола и ацетона. Основные ее компоненты – монофурфурилиденацетон и дифурфурилиденацетон [3]. Из анализа спектров продуктов реакции методом ЯМР ¹H определили, что были получены фурфуролацетоновые смолы (ФА 1-9) с соотношением моно- (МФА) и дифурфурилиденацетона (ДФА) от 0.3 до 3.8.

Для поддержания баланса между эффективностью разбавления и достаточным содержанием высокомолекулярного компонента была выбрана смола ФА5 с соотношением ДФА:МФА 1:1 для дальнейших исследований.

В работе исследовались композиции на основе эпоксидного олигомера LY-556 (HUNTSMAN), модифицированного фурфуролиденацетоновой смолой ФА5. Концентрацию (С) ФА5 варьировали от 0 до 50 % относительно массы смолы. В качестве отвердителей

использовали триэтаноламинотитанат (ТЭАТ) (10% от массы эпоксидной смолы). Смеси эпоксидной смолы и ФА5 получали при температуре 50°C при непрерывном перемешивании в течение нескольких часов и последующем вакуумировании.

Изучение вязкости эпоксидных смол, модифицированных ФА5 проводили с помощью вискозиметра Brookfield-LV с измерительной ячейкой “конус-плоскость”.

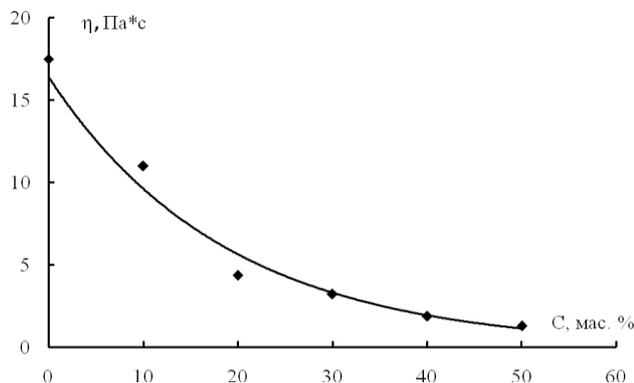


Рис.1. Зависимость вязкости η эпоксидной смолы от количества С введенного в нее ФА5

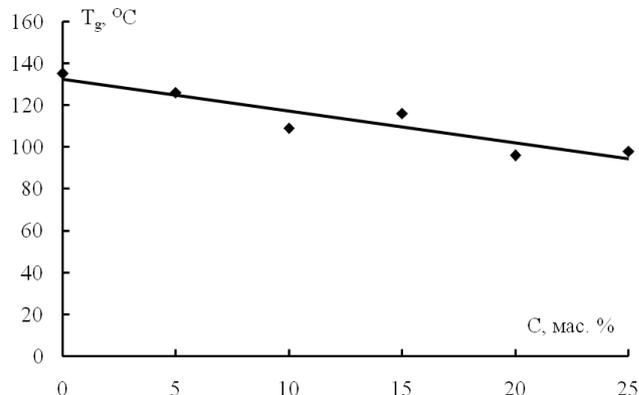


Рис. 2. Зависимость температуры стеклования эпоксидной матрицы от количества С введенного в нее ФА5

Изменение вязкости от концентрации фуранового олигомера представлено на рис. 1. При введении в эпоксидную смолу 10 мас. % фуранового олигомера вязкость снижается на 40 % относительно немодифицированной ЭД-20, при добавлении 20 мас. % ФАМ – в 4 раза. Дальнейшее увеличение концентрации ФАМ приводит к менее резкому уменьшению вязкости композиций: значения вязкости на этом участке кривой различаются между собой не более чем в 2 раза.

Методом ДМА при 3-точечном изгибе определена температура стеклования T_g эпокси-фурановых матриц. Из рис. 2 видно, что T_g практически линейно снижается с увеличением концентрации ФА5. Такое снижение температуры стеклования характерно для активных разбавителей, например диглицидилового эфира диэтиленгликоля (ДЭГ-1).

В таблице 1 представлены физико-механические характеристики модифицированных эпоксидных матриц. Введение ФА5 в эпоксидную смолу практически не влияет на механические характеристики при растяжении, но существенно повышает трещиностойкость матрицы: при введении 20 мас. % ФА5 трещиностойкость возрастает почти в 7 раз. Такое резкое увеличение G_{IR} можно связать с пластифицирующим эффектом. Весьма эффективно модифицирование фурфуролацетоновой смолой эпоксиполисульфоновых композиций. Рост значений G_{IR} может быть более чем в 10 раз относительно исходной эпоксидной матрицы и более, чем в 2 раза для эпоксидной смолы, модифицированной 20 мас. % ПСК-1.

Таблица 1. Трещиностойкость G_{IR}, прочность σ, модуль упругости E и предельное удлинение ε при растяжении эпоксидной матрицы, модифицированной ФА5 и полисульфоном ПСК-1.

Состав композиции	LY-556	LY-556 +10% ФА5	LY-556 +20% ФА5	LY-556 +10% ФА5+ 10% ПСК-1	LY-556 +10% ПСК-1	LY-556 +10% ФА5 +20% ПСК-1	LY-556 + 20% ПСК-1
G _{IR} , кДж/м ²	0,34 ± 0,06	0,24 ± 0,05	2,41 ± 0,21	0,72 ± 0,11	1,11 ± 0,14	4,79 ± 0,42	2,12 ± 0,30
E, ГПа	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,3	3,3 ± 0,2	-	-	-	-
σ, МПа	85 ± 3	88 ± 4	84 ± 2	-	-	-	-
ε, %	6,9 ± 0,2	6,2 ± 0,4	7,0 ± 0,5	-	-	-	-

Таким образом, при добавлении в эпоксидную смолу фуранового олигомера ФА5, удается существенно снизить вязкость эпоксидной смолы и значительно повысить трещиностойкость, особенно совместно с полисульфоном. Рост физико-механических характеристик можно связать с пластифицирующим эффектом при введении ФА5.

Литература

1. *Gandini A.* The irruption of polymers from renewable resources on the scene of macromolecular science and technology. // *Green Chem.* – 2011, V. 13. – P. 1061–1083
2. *Cai C.M.* Integrated furfural production as a renewable fuel and chemical platform from lignocellulosic biomass. // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.* – 2014, V. 89. – № 1. – P. 2-10.
3. *Xiaomei S., Zhen L., Tao W., Liang C.* Preparation and performance of low temperature epoxy resin chemical grouting agent. // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research.* 2014, -V. 6. – № 1. – P. 641-644.

УДК 669.245.018.44

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВОК ДИСКОВ ГТД ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЭП742-ИД

Мария Андреевна Бирюкова⁽¹⁾

Студентка 5 курса⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.В. Овсепян⁽¹⁾, А.С. Помельникова⁽²⁾

⁽¹⁾кандидат технических наук, заведующий лабораторией ФГУП ВИАМ,

⁽²⁾доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Развитие производства ГТД для авиационной и космической техники, а также судостроения и энергомашиностроения связано прежде всего с повышением температуры газа на входе в турбину, которое должно быть осуществлено в значительной степени за счет использования новых жаропрочных материалов. Наиболее ответственными среди различных деталей, как с точки зрения повышения тактико-технических параметров ГТД, так и в отношении безопасности и надежности их работы, являются диски турбины и компрессора.

К материалу дисков предъявляются высокие требования по целому комплексу свойств во всем интервале рабочих температур (550-800°С): прочности и сопротивлению малоцикловой усталости (МЦУ), жаропрочности и вместе с тем технологичности при обработке давлением, высокой вязкости разрушения и низкой чувствительности к надрезу, а также стойкости к коррозии [1].

Анализ свойств и особенностей конструкционных материалов различных классов показал, что наиболее перспективными для дисков турбин и последних ступеней компрессора ГТД на ближайшее время будут жаропрочные деформируемые никелевые сплавы.

Сплавы на никелевой основе являются одной из важнейших групп жаропрочных материалов по уровню структурной стабильности и свойствам и наиболее сложны в металлургическом производстве. Для достижения необходимых служебных свойств материала центральными являются вопросы, связанные с закономерностями формирования структуры в процессе получения заготовок дисков [2].

Целью данной работы являлась разработка режима термической обработки для заготовок дисков конкретной плавки, позволяющего получить заготовки с более высоким комплексом механических свойств.

Термомеханическая обработка штамповок малоразмерных дисков ГТД представляет собой сложный процесс, состоящий из трех этапов изотермической штамповки, между которыми проводится гомогенизирующий отжиг.

Основная термическая обработка состоит из закалки и двойного старения. Чтобы достичь максимального уровня механических свойств, необходимо после операции закалки получить микроструктуру с размером зерна в 3-4 балла и достигнуть полного растворения γ' -фазы.

Объемная доля γ' -фазы и температура ее полного растворения ($t_{п.р.}$) варьируются в пределах 5% и 15°C, соответственно, в зависимости от фактического химического состава [3]. В связи с этим для каждой плавки необходимо определение температуры закалки в зависимости от температуры полного растворения γ' -фазы.

Для определения $t_{п.р.}$ γ' -фазы была проведена закалка образцов с четырех различных температур (1080°C, 1090°C, 1095°C и 1100°C). Изучена микроструктура образцов после закалки с различных температур. Определены значения временного сопротивления и предела текучести.

На основании полученных данных установлено, что для настоящей плавки температура полного растворения γ' -фазы составляет 1090°C. Соответственно, температура закалки составляет 1095°C.

Результаты проведенных исследований показывают необходимость определения температуры полного растворения упрочняющей γ' -фазы индивидуально для каждой плавки, что позволит получить более высокий уровень свойств сплава и существенно увеличить ресурс работы дисков.

Литература

1. *С.В. Овсеян, Б.С. Ломберг, М.М. Бакрадзе, М.Н. Летников* // Термическая обработка деформируемых жаропрочных никелевых сплавов для дисков ГТД // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана: серия «Машиностроение». – 2011. (спец.вып. Перспективные конструкционные материалы и технологии). – С.122-130.
2. *Б.С. Ломберг, В.А. Горин, Д.Е. Герасимов и др.* // Высокожаропрочные деформируемые никелевые сплавы для дисков ГТД и технология их производства // Технология легких сплавов. – 1993. №7. – С.45-59
3. *М.М. Бакрадзе, С.В. Овсеян, С.А. Шугаев, М.Н. Летников* // Влияние режимов закалки на структуру и свойства штамповок дисков из жаропрочного никелевого сплава ЭК151-ИД // Труды ВИАМ: электронный научный журнал – 2013. №9 [Электронный ресурс]. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=244 (дата обращения: 18.02.2015).

УДК 620.17

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЛУЖЕНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОЛОЧЕНИЕМ, СОВМЕЩЕННМ С КОНТАКТНЫМ ОТЖИГОМ

Ольга Витальевна Бобель⁽¹⁾, Екатерина Андреевна Сафронова⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

АО «Особое Конструкторское Бюро Кабельная Промышленность»⁽²⁾

Научный руководитель: К.О. Базалева

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Кабельные изделия эксплуатируются в самых различных условиях, в том числе в экстремальных; они находят применение в авиационной, космической, радиоэлектронной промышленности и многих других отраслях техники. В основе любого кабеля лежит проволока, и она определяет свойства кабеля. В условиях непрерывно развивающегося научно-технического прогресса необходимо постоянно совершенствовать технологию производства проволоки. В настоящий момент идет исследование перспективного метода лужения проволоки – гальваническим способом. Для дальнейшего внедрения данного способа необходимо доказать его применимость и рациональность в сравнении с использованием технологии горячего лужения проволоки.

Целью данной работы является исследование свойств медной луженой проволоки, изготовленной путем гальванического лужения с последующим волочением, совмещенным с контактным отжигом.

В работе исследовались образцы медной луженой проволоки диаметром 0,30 и 0,70 мм с толщиной покрытия 1, 3 и 5 мкм. После волочения с контактным отжигом были получены из проволоки диаметром 0,30 мм изделия диаметров 0,10 мм и 0,12 мм; из проволоки диаметром 0,70 мм – 0,26 мм с различными толщинами покрытия.

В работе проведены: металлографический анализ образцов проволоки и испытания механических и электрических свойств проволоки разных диаметров. Более того, были получены некоторые зависимости механических свойств проволоки от режима отжига. Образцы были испытаны на толщину полученного плакирующего слоя и на сплошность покрытия. Были получены шлифы образцов с целью определения фактической толщины покрытия проволоки.

Анализ результатов показал, что медная луженая проволока, полученная методом гальванического лужения с последующим волочением, совмещенным с контактным отжигом, удовлетворяет требования ГОСТ и ТУ по механическим и электрическим свойствам. При гальваническом лужении покрытие является сплошным и имеет заданную толщину покрытия.

В настоящий момент невозможно сделать вывод о пригодности метода гальванического лужения для изготовления проволок и кабелей всех назначений, особенно используемых в экстремальных условиях. В рамках проведенного исследования были получены выводы о зависимости механических свойств от режима отжига и было изучено качество получаемого покрытия.

Литература

1. Вячеславов П.М. Основы гальванотехники,– 1960г.

2. пер. с нем. Н.Б. Циборовская Справочное руководство по гальванотехнике — 1969г.
3. Л.С. Ейльман, М.Б. Кнастер Защита проводов и кабелей от коррозии, – 1972г.
4. Лайнер В.И. Современная гальванотехника, – 1967г.
5. Белоруссова Н.И., Пешкова И.Б. Производство кабелей и проводов, – 1981г.

УДК 669.245.018.44

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫСОКОПРОЧНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ РАБОТАЮЩЕГО ДО 800 °С ДЛЯ ДИСКОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ (ГТД)

Анна Алексеевна Буюкина

студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет

Научные руководители: С.В.Овсеян⁽¹⁾, А.С.Помельникова⁽²⁾

⁽¹⁾ кандидат технических наук, заведующий лабораторией №3 ФГУП ВИАМ

⁽²⁾ доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Для современных деформируемых жаропрочных сплавов на никелевой основе практически достигнут предел механических свойств и дальнейшее увеличение характеристик невозможно без применения новых подходов к легированию и технологии обработки.

В настоящее время сплавы для дисков турбин отечественного и зарубежного производства (ВЖ175У, ЭП975, Alloy 10, LSHR) не обеспечивают высокие показатели одновременно кратковременной и длительной прочности при температурах 700 - 800 °С. Основной проблемой сочетания высоких показателей механических свойств является разный механизм пластической деформации в условиях ползучести и статического растяжения.[1]

Целью данной работы является выбор химического состава высокопрочного сплава на основе никеля с использованием математического моделирования, обеспечивающего фазовую стабильность и сочетание высокого уровня прочности и жаропрочности при 750°С. Новый сплав должен превосходить отечественные и зарубежные аналоги по рабочей температуре на 50-100 °С (ВЖ175У – 750°С, Alloy10 и LSHR – 700°С), по жаропрочности при 750°С на базе 100 часов на 11-40 % (ВЖ175У, Alloy 10, LSHR).[2] Результаты работы могут быть использованы при создании перспективного вертолетного двигателя и малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД).

При разработке химического состава, для оценки уровня свойств и фазовой стабильности, с целью исключения возможности выделения топологически плотноупакованных (т.п.у.) фаз при термообработке и эксплуатации сплава использовали физико-химическую модель на основе уравнений системы неполяризованных ионных радиусов (СНИР). [3, 4]

В результате исследований выбраны композиции на основе системы Ni-Co-Cr-Al-Ti, дополнительно легированные вольфрамом (до 10%), танталом (до 6%) и ниобием (до 4,5%). Установлены зависимости механических характеристик ($\sigma_{\text{в}}^{20}$, $\sigma_{0,2}^{20}$, δ_5^{20} , $\sigma_{100}^{\text{полз}}$) от параметров СНИР. Определены оптимальные концентрации легирующих элементов сплава для обеспечения высоких значений прочности при комнатной и рабочих температурах.

Для экспериментальных составов проведены испытания механических свойств. Получены заданные характеристики: $\sigma_{\text{в}}^{20} = 1515$ МПа, $\sigma_{0,2}^{20} = 1170$ МПа, $\sigma_{100}^{\text{полз}}$ МПа. Показано, что при оптимальном химическом составе обеспечивается минимальное содержание избыточной эвтектики γ' фазы и отсутствие т.п.у. фаз.

Методами оптической и растровой электронной микроскопии изучена микроструктура экспериментальных композиций. Проведены сравнительные исследования основных свойств после различных режимов термической обработки. Установлено, что только подбор одновременно химического состава и термической обработки способен обеспечить высокие показатели механических характеристик сплава.

Литература

1. *Б.С. Ломберг, С.В. Овсепян, М.М. Бакрадзе, И.С. Мазалов* «Высокотемпературные жаропрочные никелевые сплавы для деталей газотурбинных двигателей» // 80 лет. Авиационные материалы и технологии : Юбил. науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии») / Под общ. ред. акад. РАН, проф. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2012. – С. 52-57
2. *Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М.* Особенности легирования и термической обработки жаропрочных никелевых сплавов для дисков газотурбинных двигателей нового поколения // Авиационные материалы и технологии : Науч.-технич. сб. – М.: ВИАМ, 2010. – №2. – С. 3-8
3. *Овсепян С.В., Ломберг Б.С., Григорьева Т.И., Бакрадзе М.М.* Жаропрочный деформируемый свариваемый сплав для деталей ГТД с низким температурным коэффициентом линейного расширения // *Металлург : Журнал* – М.: *Металлургиздат*, 2013. – №7 – С. 61-65
4. *Бакрадзе М.М.* Особенности легирования и термической обработки высокожаропрочных никелевых сплавов нового поколения для дисков перспективных газотурбинных двигателей.: дис. канд. техн. наук : 05.16.01 : защищена 19.04.11 : утв. 08.07.11 / Бакрадзе Михаил Михайлович. — М., 2011. — 118 с.

УДК 621.785.616.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОВОЙ ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ РАЗНЫХ ТИПОВ

Вай Ян Мин Хтет

магистр 1 года

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет

Научные руководители: С.Ю. Шевченко, А.Е. Смирнов

кандидаты технических наук, доценты кафедры «Материаловедение»

Закалка в газах высокого давления применяется для деталей сложной формы, изготавливаемых из сталей мартенситного класса, а также ряда сплавов, упрочняемых термической обработкой. В литературе практически отсутствуют справочные данные для прогнозирования результатов закалки в различных газовых средах без проведения экспериментов. Таким образом, исследование охлаждающей способности газовых сред является очень важной задачей.

Охлаждающая способность закалочных сред может быть описана величиной и характером изменения коэффициента теплоотдачи в процессе закалки. Для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи используют датчики разных конструкций. Цель работы заключалась в сравнении температурных зависимостей коэффициента теплоотдачи азота высокого давления, полученных с применением датчиков двух типов.

Датчик градиентного типа [1] снабжен термопарами для измерения температуры непосредственно на поверхности датчика и вблизи нее. Разность этих температур пропорциональна тепловому потоку от поверхности датчика в процессе охлаждения и коэффициенту теплоотдачи. Задача размещения термопары на поверхности конструктивно сложна, поэтому такой датчик довольно дорог и ресурс его работы невелик.

Идея определения коэффициента теплоотдачи с помощью призматического датчика [2] заключается в следующем. При охлаждении квадратной призмы, куба и короткого цилиндра изотермы со средней по поверхности и средней по массе температурами располагаются внутри образца. Преимуществом данного метода является то, что для измерения температуры поверхности датчика нет необходимости размещать термопару на самой поверхности. Коэффициент теплоотдачи рассчитывают с использованием разности средней по поверхности и средней по массе температур.

Закалочное охлаждение датчиков проводили в вакуумной печи 10.0VPT-4020/24N в атмосфере азота высокого давления, использовали давление газа 2,0 и 7,3 атм с быстрым вращением ротора турбины, размещенного в вакуумной камере.

На рис. 1 приведены температурные зависимости коэффициентов теплоотдачи, рассчитанные по кривым охлаждения градиентного и призматического датчиков. Полученные зависимости весьма близки. Это подтверждает, что коэффициент теплоотдачи является характеристикой самой закалочной среды и не должен зависеть от способа его определения, размеров и материала датчика. Следовательно, для экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи можно использовать датчик более простой конструкции.

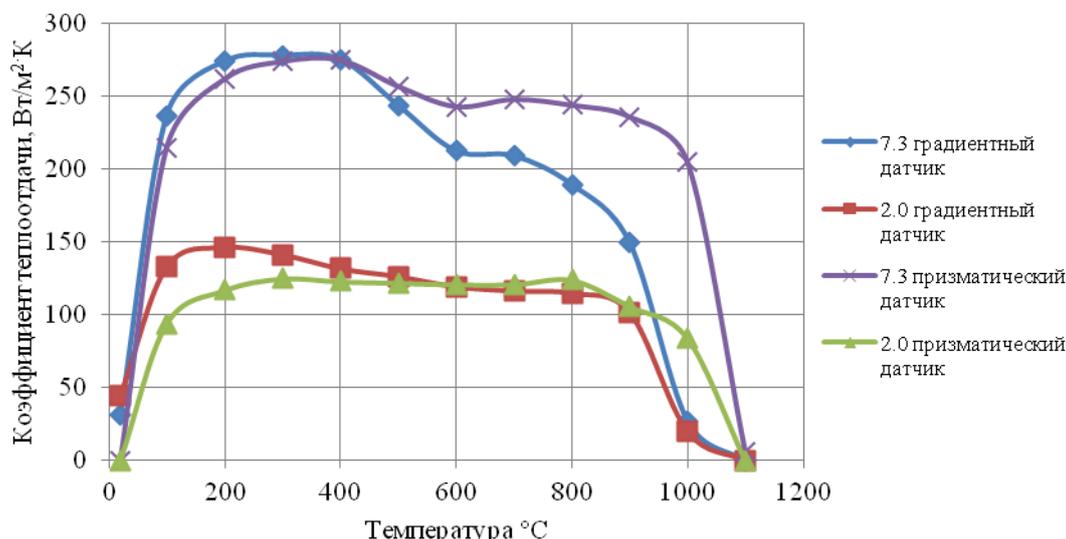


Рис. 1. Коэффициенты теплоотдачи азота высокого давления

Литература

1. Шевченко С.Ю. Разработка расчетно-экспериментального метода анализа и контроля охлаждающей способности закалочных сред с использованием датчика градиентного типа. – Дисс. канд. техн. наук. – М., 2005. – 170 с.
2. Будрин Д.В., Суханов Е.Л., Кондратов В.М. Применение термозонда призматической формы для определения охлаждающей способности закалочных сред // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1966. – № 2. – С.134-139.

УДК 62-65:62-69

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИСПЫТАНИЯ ТЕРМОКОМПЕНСАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ.

Виктория Денисовна Демина

Студентка 6 курса

Кафедра «Материаловедение в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: Алексеев Сергей Владимирович

кандидат технических наук,

ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»;

Баженова Ольга Петровна,

ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»;

Крапошин Валентин Сидорович,

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение в машиностроении»,

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана

При решении задачи обеспечения равномерного температурного подогрева зеркал телескопа появились вопросы обеспечения данной конструкции электрическими нагревателями с минимальным газовыделением для обеспечения чистоты поверхности подогреваемых зеркал. Предлагаемые ранее композиции на основе органических клеев обладают повышенным газовыделением. Поэтому появилась необходимость проработать возможность изготовления электрических нагревателей многослойного пленочного типа на основе неорганических материалов с использованием технологий, обеспечивающих получение окончательной композиции неорганических материалов с минимальным газовыделением. Предположительно, конструкция нагревателя должна представлять собой подложку из металлического сплава, обладающего высокой теплопроводностью для равномерного распределения температурного поля, с нанесенными последовательно тонкими слоями диэлектрика, токопроводящего слоя и окончательного диэлектрического слоя.

Ясно, что такая структура, предназначенная для работы в широком температурном диапазоне (около 100 градусов), должна иметь входящие в нее слои с близкими коэффициентами линейного расширения.

Материал, используемый в качестве нагревательного элемента должен удовлетворять следующим требованиям:

- Для обеспечения постоянства рассеиваемой мощности в условиях меняющихся температур (например, в заданном интервале температур от 0 до 100°C) необходима температурная стабильность удельного сопротивления ρ , т.е. низкий температурный коэффициент ТКР;

- Резистивный элемент должен иметь постоянные характеристики во времени;
- Так как материал работает в вакууме и рядом с зеркалом, то он должен иметь минимальную испаряемость;
- Температурные коэффициенты расширения материала подложки и материала нагревательного элемента должны быть близкими;
- Материал нагревателя должен иметь хорошую адгезию к подложке.

В процессе работы были опробованы следующие структуры:

- Металлическая подложка из АМгб + оксид алюминия + гексаметилдисилоксан + нихром + оксид циркония;

- Металлическая подложка из АМгб + оксид алюминия + пара-ксилилен + нихром + оксид циркония;

В результате проведенных испытаний были получены и проанализированы электрические характеристики опытных образцов. С точки зрения технологичности, был сделан выбор в пользу структуры с пара-ксилиленом.

Приведено обоснование вида контактной группы.

Нагревательные устройства проходят испытания в 2 этапа: автономно и в составе машины (полностью собранного телескопа). На данный момент проведены автономные испытания нагревателей для исследования влияния на их мощность следующих факторов:

- пониженного давления;
- высокой температуры и пониженного давления.

При проведении испытаний результаты фиксировались в виде изменения сопротивления, впоследствии пересчитанном в изменение мощности.

Далее по программе будут проведены испытания на воздействие вибрации, факторов климатического пространства, пониженного давления и температур, но уже в составе телескопа.

Литература

1. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. Справочник. Физические величины. М.: Энергоатомиздат - 1991. – 1234 с.
2. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материалы для производства изделий электронной техники. М.: Высшая школа - 1987. – 575 с.
3. Ткачук Б.В., Колотыркин В.М. Получение тонких полимерных пленок из газовой фазы. М.: Химия -1977. – 585 с.
4. Дроздов Н.Г., Никулин Н.В. Электроматериаловедение. Учебник для проф.-техн. учебных заведений и подготовки рабочих на производстве. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа - 1973. -312 с.
5. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков: Учебник для вузов. М.: Металлургия -1998. -547 с.

УДК 548.1

УПАКОВКИ СПИРАЛЕЙ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Елена Денисовна Демина

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.С. Крапошин

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Известно, что любую кристаллическую структуру можно представить в виде полиэдров.

Сравним структуру материала с шахматной доской (рис.1,а). Для этого представим, что в каждой вершине квадрата находится атом. Заметим, что для того, чтобы нарисовать шахматную доску, можно нарисовать только черные квадраты, тогда белые получатся сами собой.

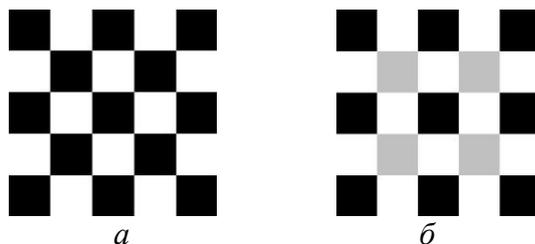


Рис. 1. Шахматная доска (а) и «лишние» серые квадраты (б)

Оказывается, что если представить структуру материала в виде шахматной доски, то для определения всех положений атомов не обязательно рисовать все черные квадраты. На рис.1,б видно, что все вершины серых квадратов определяются вершинами соседних черных квадратов, а значит, при описании структур они не нужны.

В статье [1] авторы доказали, что ГЦК-решетку можно представить в виде спиралей, не имеющих общих вершин. Каждая спираль состоит из соединенных по ребрам октаэдров, на каждой грани которых стоит тетраэдр. Спирали соединяются между собой по правилу шахматной доски. Такую структуру, например, имеет минерал анатаз (TiO_2): это ГЦК-упаковка ионов кислорода, часть кислородных октаэдров при этом центрирована ионами титана, и октаэдры с титаном образуют спираль, показанную на рис.2.

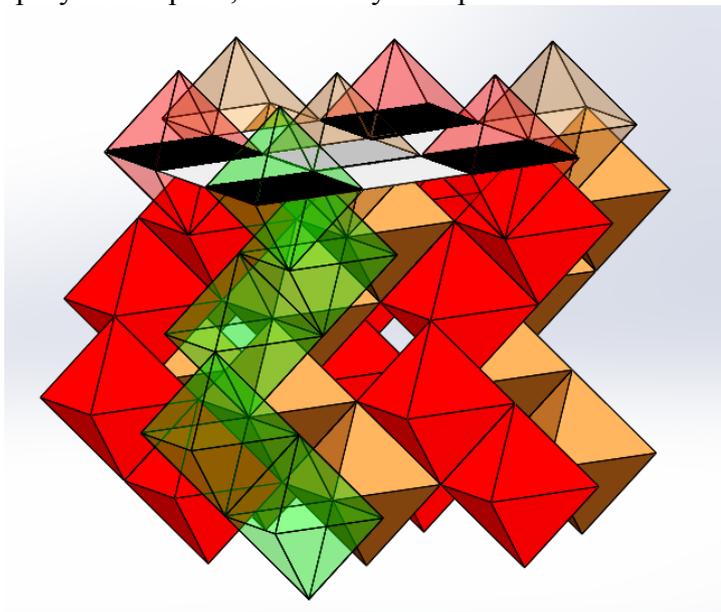


Рис. 2. Спирали ГЦК-упаковки

Представление структуры в виде спиралей помогает разобраться в описании структур металлических жидкостей и металлических стекол.

Литература

1. Крапошин В.С., Талис А.Л. Кристаллография и вещество // Природа. – 2014, №11. С. 3–15.

УДК 669.245+621.9.048+620.1

ВЛИЯНИЕ ЖАРОСТОЙКОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ НА СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

Виктория Михайловна Жук

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: А.С. Помельникова⁽¹⁾, А.М. Гаямов⁽²⁾

⁽¹⁾ доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

⁽²⁾ кандидат технических наук, ФГУП «ВИАМ»

В настоящее время совершенствование и увеличение мощности газотурбинных двигателей (ГТД) происходит за счет увеличения температуры газов перед турбиной и повышения степени сжатия воздуха в компрессоре. В связи с этим происходит существенное усложнение условий работы лопаток ГТД, конструкции и, как следствие, увеличение стоимости двигателя. Поэтому проблема увеличения жаростойкости и жаропрочности деталей является одной из важнейших задач в машиностроении [1].

В качестве материалов для деталей, работающих при 800 — 1100°C, наибольшее применение находят сплавы на основе никеля с последующим нанесением жаростойкого покрытия.

Можно сформулировать следующие основные требования, предъявляемые к жаростойким покрытиям [2,3]:

1. Важнейшее требование, предъявляемое к жаростойким покрытиям - их долговечность. Для этого, с точки зрения длительной сопротивляемости окислению, они должны быть сравнительно толстыми и стабильными.

2. Покрытия должны характеризоваться минимальной скоростью диффузионного обмена с подложкой для того, чтобы защитные свойства покрытия в процессе эксплуатации не изменялись быстро.

3. Покрытие должно обладать достаточной пластичностью и прочностью для того, чтобы оно не растрескивалось под влиянием термических и механических ударов и не оказывало отрицательного влияния на прочность защищаемой детали.

4. Для деталей газотурбинных установок большое значение имеет эрозионная стойкость покрытий. Поэтому покрытия должны обладать высокой твердостью.

В соответствии с этим состав жаростойких покрытий должен удовлетворять определенным условиям [3,4].

Наиболее высокими защитными свойствами в условиях высокотемпературного окисления обладает оксидная пленка из Al_2O_3 . Поскольку при циклических изменениях температуры пленка из Al_2O_3 разрушается, то для ее восстановления покрытие должно содержать достаточный запас алюминия. Чем больше алюминия в покрытии, тем выше его долговечность. Однако вводить очень большие количества алюминия в покрытие путем увеличения его концентрации или путем увеличения толщины покрытия нельзя, так как и в том, и в другом случае увеличивается его склонность к растрескиванию и усиливается отрицательное влияние покрытия на прочность детали. Оптимальное содержание алюминия в покрытии зависит от конструкции и условий эксплуатации защищаемой детали.

Важнейшим элементом, наличие которого необходимо в алюминидном покрытии, является хром. Хром вводят для увеличения жаростойкости покрытия, так как он увеличивает активность алюминия.

Кроме хрома, в покрытие целесообразно вводить элементы, которые улучшают сцепление оксидной пленки с металлом или сопротивляемость сульфидной коррозии. Для этих целей используют малые добавки иттрия, гафния и кремния.

Целью работы являлось исследование структуры и жаростойкости образцов из сплава ЖС6У после различных режимов получения жаростойкого покрытия и термической обработки. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести подготовку поверхности образцов для нанесения покрытий.
2. Нанести покрытие по различным режимам.
3. Провести вакуумный отжиг образцов по различным схемам.
4. Изучить микроструктуру полученных покрытий.
5. Определить жаростойкость образцов с покрытиями.

Исследования проводились на сплаве ЖС6У, на который наносилось покрытие из сплава СДП-2 на установке МАП-1М. Химические составы сплавов представлены в таблице.

Таблица 1. Химический состав сплавов ЖС6У и СДП-2

Сплав	Содержание легирующих элементов, вес. %											
	C	Cr	Co	W	Mo	Al	Ti	Ni	Nb	Zr	B	Y
ЖС6У	0,18	9,0	9,8	10,3	1,5	5,4	2,6	осн	1,0	0,04	0,02	-
СДП-2	-	20	-	-	-	12	-	осн	-	-	-	0,3

Покрытия наносились по разным режимам (варьировались ток разряда от 700 А до 900 А и потенциал подложки от 10 В до 100 В), после чего исследовалась структура и определялась жаростойкость.

На основании полученных результатов установлено, что:

1. Микроструктура конденсированных ионно-плазменных покрытий формируется в 2 этапа: непосредственно при нанесении и затем окончательно при вакуумном отжиге.
2. Установлено, что микроструктура и качество покрытия системы Ni-Cr-Al-Y в большей степени зависят от потенциала подложки и в меньшей степени от тока разряда.
3. Показано, что нанесение покрытия из сплава СДП-2 позволяет увеличить жаростойкость и, соответственно, долговечность и срок эксплуатации деталей.

Литература

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: МИСИС, 2006, 632 с.
2. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность никелевых сплавов. М.: Металлургия, 1984, 216 с.
3. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. - М.: Машиностроение, 2001. - 463 с.
4. Мовчан Б.А., Малашенко И.С. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 232 с.
5. Тамарин Ю.А. Жаростойкие диффузионные покрытия лопаток ГТД. - М.: Машиностроение, 1978. - 133 с.
6. Будиновский С.А., Каблов Е.Н., Мубояджян С. А. и др. Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков: Сб. тр. - М.: ВИАМ, 1994, с. 314-325.
7. Будиновский С.А., Мубояджян С.А., Гаямов А.М., Степанова С.В. Ионно-плазменные жаростойкие покрытия с композиционным барьерным слоем для защиты от окисления сплава ЖС36ВИ // МиТОМ. - 2011. - №1. - С. 34-40.

УДК 67.017**ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАННОГО КОМПЛЕКСА СВОЙСТВ ИЗ ГРАНУЛИРУЕМОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЭП741НП**

Татьяна Геннадьевна Жукова

Студентка 4 курса

кафедра «Материаловедение»,

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: А.И. Логачёва⁽¹⁾, Ю.А. Курганова⁽²⁾

кандидат технических наук, профессор-исследователь, заместитель начальника отдела института ОАО «Композит»⁽¹⁾, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение»⁽²⁾

В настоящее время активно ведутся разработки по усовершенствованию дисков газотурбинных двигателей (ГТД) в авиа- и ракетостроении. Диск ГТД входит в состав ротора турбины и служит для установки рабочих лопаток, создающих крутящий момент, и передачи этого момента с лопаток на вал. Диск расположен в роторе после камеры сгорания и на него оказывает воздействие широкий спектр нагрузок.

Повышение требований к материалам по жаропрочности и связанное с этим усложнение состава сплавов привело к тому, что стало проблематичным получение заготовок деталей.

Решением обозначенной проблемы стала технология гранульной металлургии.

Гранульная металлургия стала технологией, которая позволяет получать новые материалы, в том числе композиционные, с заданными свойствами.

Данная технология включает в себя такие этапы, как: получение порошков, изготовление заготовок и их последующую обработку, что дает возможность получать изделия с заданным комплексом свойств, размеров и формы без использования последующей механической обработки.

В ОАО «Композит» для получения гранул используют центробежное плазменное распыление быстровращающегося электрода на установке центробежного распыления (УЦР).

Основными этапами технологии гранульной металлургии являются:

1. Контроль качества исходной заготовки для получения гранул
2. Распыление жидкого сплава (металла);
3. Рассев гранул, сепарация и очистка их от металлических и неметаллических включений;
4. Засыпка гранул и их герметизация в капсулах;
5. Газостатическая обработка;
6. Термическая обработка (ТО);

Определяющим этапом формирования комплекса свойств является проведение соответствующего режима ТО. Для гранулируемого никелевого сплава ЭП741НП выбран следующий режим ТО:

Закалка: Загрузка при 700 °С, нагрев до 1210 °С, выдержка 8 часов, охлаждение на воздухе.

Старение: Загрузка при 700 °С, нагрев до 870 °С, выдержка 16 часов, охлаждение с печью до 760 °С, выдержка 16 часов, охлаждение на воздухе.

Данный режим позволил получить высокие прочностные характеристики, обеспечивающие хорошую работоспособность диска ГТД: $\sigma_b = 1300$ МПа, $\sigma_{0,2} = 870$ МПа, $\delta_5 = 10,3$ %, $\psi = 12$ МПа.

В работе продемонстрировано обоснование выбора ТО для композиционного материала на основе никеля, полученного методом гранульной металлургии.

Литература

1. Л.В.Тарасенко, М.В. Унчикова / Жаропрочные никелевые литейные сплавы равноосной и направленной кристаллизации - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2005. - 18с.
2. Ф.Ф. Химушин. Жаропрочные стали и сплавы. - М.: Металлургия, 1969. - 752с.
3. Симс Ч.Т., Столофф Н.С. Хагель / Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок : изд. В 2-х т. / Под ред. Шалина Р.Е.-М.: Металлургия, 1995. - 384с.
4. А.Г. Берсенева, А.В. Логунов, А.И. Логачева / Проблемы повышения качества жаропрочных сплавов, получаемых методом металлургии гранул // Вестник МАИ. 2008. №3. С.8.
5. Robert W. Cahn and Peter Haasen / Physical Metallurgy – М.: 1996. - 942с.
6. Фатхулин О.Х. и др. / Разработка перспективных технологий для жаропрочных никелевых сплавов // Технология легких сплавов. 1999. №3.С53.
7. Гарибов Г.С. / Современный уровень развития порошковой металлургии жаропрочных никелевых сплавов // Технология легких сплавов. 2000. №6. С.58.
8. Голованов В.И., Логачева А.И., Логунов А.В., Разумовский И.М. / Тезисы доклада «Пути повышения качества гранулированных жаропрочных сплавов» // Материалы 25-й Международной научно – практической конференции «Композиционные материалы в промышленности». Ялта 2005. С.30.
9. Мусиенко В.Т. / Некоторые итоги разработки технологии производства гранул жаропрочных никелевых сплавов для изготовления изделий авиакосмической техники // Технология легких сплавов. 2000. №6. С.72.

УДК 53.084.823

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОРАСТВОРНОГО И ДИСПЕРСИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ $\alpha+\beta$ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ8-1

Адриан Валентинович Заводов⁽¹⁾, Олег Салаватович Кашапов⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

начальник сектора лаборатории титановых сплавов⁽²⁾

ФГУП «ВИАМ»

Научный руководитель: Е.А. Лукина

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «ВИАМ»

Жаропрочный ($\alpha+\beta$)-титановый сплав ВТ8-1, системы Ti-Al-Sn-Zr-Si, разработанный в начале 1990-х годов, на сегодняшний день является основным сплавом для дисков компрессора с рабочей температурой до 450°C. Для существенного повышения прочностных характеристик жаропрочного титанового сплава ВТ8-1 рассмотрена возможность применения упрочняющей термической обработки.

Стандартную термообработку титановых сплавов системы Ti-Al-Sn-Zr-Si проводят по следующей схеме: 1) высокотемпературный отжиг вблизи температуры полного полиморфного превращения; 2) старение [1].

С целью повышения эксплуатационных свойств были предложены следующие режимы термообработки: 1) высокотемпературный отжиг с повышенной степенью старения; 2) высокотемпературный отжиг с пониженной степенью старения; 3) закалка в воду с температуры ниже температуры полиморфного превращения на 100 °С и последующим старением при пониженной температуре (упрочняющая термическая обработка).

Для исследования механических свойств проводились испытания при 20 °С и повышенных температурах (450, 500, 550 °С).

Для установления фазового состава, морфологии и характера выделения фаз были проведены рентгеновские и электронномикроскопические исследования микроструктуры образцов сплава ВТ8-1 после приведенных выше режимов обработки.

С целью установления последовательности фазовых превращений в ходе предложенных термообработок проведены структурные исследования на каждом этапе термообработки, и показаны различия состояний материала после каждой ступени.

В результате работы было установлено, что применение двухступенчатого отжига (режим №2) с повышенной температурой на первой ступени и пониженной на второй приводит к повышению характеристик трещиностойкости на 18% и прочностных характеристик в интервале исследованных температур на 10-15 % по сравнению с серийной термической обработкой за счет одновременного действия механизмов твердорастворного и дисперсионного упрочнения.

Повышение температуры отжига (режим №1) приводит к существенному укрупнению частиц силицидов и падению ударной вязкости [2].

Упрочняющая термическая обработка (режим №3) повышает показатели прочности сплава, однако показатели пластичности остаются низкими. В отличие от отожженного состояния, в данном случае с одной стороны повышается эффективность твердорастворного упрочнения, а с другой – увеличивается эффективность дисперсионного упрочнения за счет распада метастабильных твердых растворов (α'' и β) на дисперсную смесь ($\alpha+\beta$).

Таким образом в работе предложены режимы двухступенчатых отжигов, обеспечивающих повышенные характеристики прочности и трещиностойкости. Объяснены причины повышения механических характеристик с точки зрения структурного состояния и фазового состава.

Литература

1. Хорев А.И., Белов С.П., Глазунов С.Г. *Металловедение титана и его сплавов*. М.: Металлургия. 1992. 352 с.
2. Кашанов О.С., Павлова Т.В., Ночовная Н.А. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства жаропрочного титанового сплава для лопаток КВД // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. №2. С. 8–14

УДК 678.5**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ИЗ ПОЛИКАРБОНАТА**Вячеслав Андреевич Запорников⁽¹⁾, Владимир Александрович Нелюб⁽²⁾*Аспирант 3 года⁽¹⁾**кафедра «Технологии переработки пластмасс»**Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева**Директор Межотраслевого Инжинирингового центра «Новые материалы, композиты и нанотехнологии» (МИЦ «НМКН»), руководитель инновационного проекта «Композиты России»⁽²⁾**Научный руководитель В.С. Осипчик**доктор технических наук, профессор кафедры «технология переработки пластмасс»*

Целью настоящей работы явилось исследование процесса переработки отходов производства сотового листа из поликарбоната (ПК) в изделия, путем предварительного компаундирования отходов производства с чистым ПК, добавками, и дальнейшей переработкой компаунда в изделия методом литья под давлением, а так же исследование получаемых материалов.

Непосредственно переработать отходы производства не представлялось возможным, т.к. переработка ПК связана с рядом трудностей [1-3]. В дальнейшем, отходы производства вводили в исходный поликарбонат в количестве 20 мас. %.

В работе изучалось влияния модифицирующей добавки (МД) на физико-механические свойства композиции. Результаты представлены в таблице 1.

Так же, было установлено, что при введении МД удается увеличить показатель текучести расплава, что коррелирует с данными в справочнике [4], и снизить температуру процесса переработки с 280-290 °С до 260-270 °С, что в свою очередь снижает энергозатраты при производстве.

Как видно из полученных данных, количество модификатора слабо влияет на прочностные свойства композиции, они скорее выступают в качестве структурных модификаторов, о чем свидетельствуют снимки атомно-силовой микроскопии, представленные на рисунках 1 и 2.

Таблица 1. Физико-механические и технологические свойства композиций.

Композиция, масс. %	A, кДж/м ²	σ_T , МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	ϵ , %	ПТР, г/10 мин
ПК*	97	52	70	105	9,0
ПК + 20% ВПК*	90	50	65	50	10,0
ПК + 20% ВПК + 0,25% МД*	95	55	73	41	11,0
ПК + 20% ВПК + 0,5% МД	97	53	74	38	12,5
ПК + 20% ВПК + 1% МД	100	52	76	32	13,0

* (ПК – исходный поликарбонат, ВПК – вторичный поликарбонат, МД – модифицирующая добавка; % - массовые).

На фотографии исходного поликарбоната видна характерная для него фибриллярная структура [5-7] с размерами фибрилл от 130 до 230 нм.

На АСМ фотографии модифицированного поликарбоната, видны сферолиты радиального, типа, что может свидетельствовать о росте степени кристалличности материала.

Увеличение ударной вязкости и предела текучести при введении МД обусловлено, по-видимому, тем фактом, что микротрещины локализуются и тем самым предотвращается их дальнейший рост.

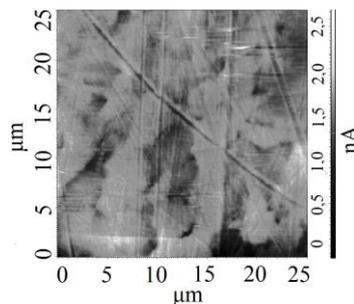


Рис. 1. АСМ фотография поликарбоната модифицированного МД.

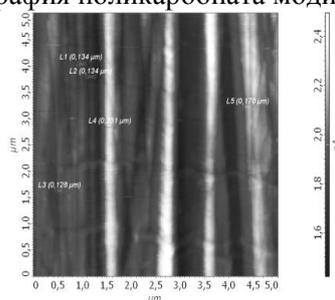


Рис. 2. АСМ фотография исходного поликарбоната.

Так же в работе было исследовано влияние функциональной добавки на свойства поликарбоната. Исследовалось влияние МД совместно с функциональной добавкой (ФД). Механизм модифицирования заключается, по-видимому, в том, что микрочастицы ФД распределяясь в матрице поликарбоната, в момент разрушения способствуют образованию вокруг них сетки микротрещин и одновременно, эластично деформируясь, предотвращают образование магистральной трещины.

Из теории упрочнения хрупких полимеров следует, что эффект повышения ударной вязкости достигается лишь в том случае, если каждая частица модификатора будет способствовать локализации дошедшей до нее трещины [8]. Свойства полученной композиции представлены в таблице 2.

Таблица 2. Свойства модифицированного поликарбоната.

Композиция	A, кДж/м ²	σ _p , МПа	ε, %	σ _{изг} , Мпа	ПТР, г /10 мин
ПК	95	52	105	70	9
ПК + 1% МД	100	57	105	70	7
ПК + 3% ФД	95	50	115	66	4
ПК + 3% ФД + 1% МД	110	65	95	67	10

Выводы.

1. Удалось увеличить производительность процесса переработки вторичного поликарбоната, а так же получилось снизить температуру переработки на 20-30 градусов.
2. За счет введения добавок удалось повысить прочностные свойства поликарбоната, а так же удалось снизить технологическую усадку.
3. Установлены типы и размеры надмолекулярных образований композиционных материалов.

Литература

1. Сурков А.А., Глушанкова И.С., Балабенко Н.А. // Фундам. исследования. 2012. № 9. С. 171-175;
2. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я. // Рос. хим. журнал. 2010. Т. 54. Вып. 1. С. 41-45;
3. Ла Мантия Ф. Вторичная переработка пластмасс. пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия. 2006. 398 с.;
4. Г.С. Каца, Д.В. Милевски. Наполнители для полимерных композиционных материалов. пер. с англ. под ред. П.Г. Бабаевского. М.: Химия. 1981. 736 с.;

5. *А.А. Аскадский*. Деформация полимеров. М.: Химия. 1973. 440 с.;
6. *Козлов Г.В., Буря А.И., Сандитов Д.С., Сердюк В.Д., Липатов Ю.С.* // Матер., техн., инструменты. 1999. Т. 4. № 2. С. 51-54;
7. *Алоев В.З.* Закономерности формирования структуры и свойств одноосно ориентированных полимерных материалов. Дис. на соискание ученой степени д.х.н. Нальчик.: Кабардино-балкарская гос. сельхоз. академия. 2004. 383 с.;
8. *Е.Б. Троянская*. Термопласты конструкционного назначения. М.: Химия, 1975. 240 с.;

УДК 620.186.5

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СТАЛИ 35 И 40Х

Анна Юрьевна Иванова

Студентка 4 курса

кафедра «Материаловедение в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: В.Н. Симонов, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Процесс деформирующего резания заключается в подрезании материала поверхностного слоя детали и последующей деформации подрезанного слоя рабочими поверхностями режущего инструмента. При деформирующем резании подрезанный слой полностью не отделяется от заготовки и в виде ребра остается на ней. Наличие жесткой связи подрезанного слоя с основой заготовки позволяет целенаправленно производить его пластическую деформацию рабочими поверхностями режущего инструмента. По сути, образующиеся ребра - это неотделившаяся от заготовки стружка ^[2]. Метод деформирующего резания реализуется инструментом типа проходного резца на стандартном металлорежущем оборудовании. Поскольку стружка не образуется, метод является безотходным. В результате на поверхности заготовки получается регулярная структура с вертикальными или наклонными слоями ^[3]. На рисунке 1 представлена фотография микроструктуры образца после деформирующего резания.

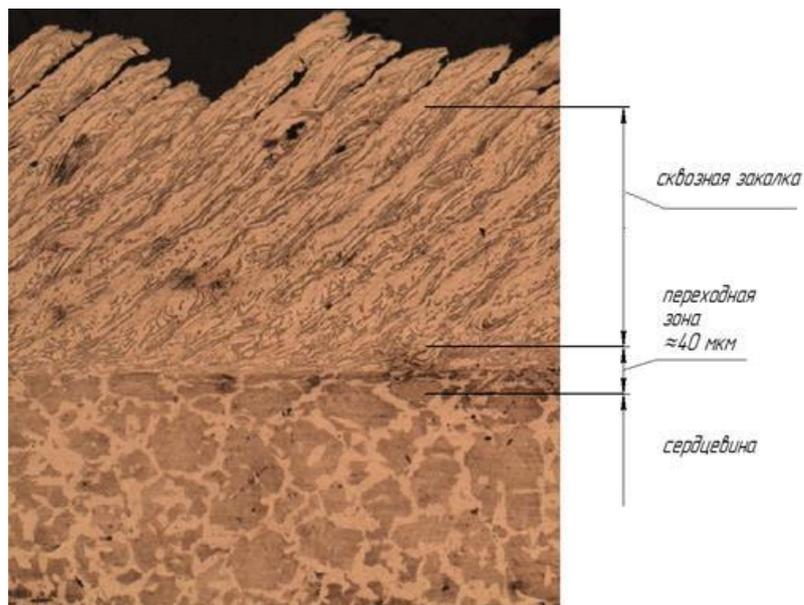


Рис. 1. Упрочненная оребренная структура стали 35

В качестве материала для данного исследования использовалась сталь 35. Исходной заготовкой являлся вал из данной стали (состояние поставки – нормализация). Проведенные микроструктурные исследования образцов со сквозной и частичной закалкой ребра показали наличие трех зон на шлифах исследуемого, четко видимых на образце: зона закалки ребра, переходная зона (между оребренной структурой и основным материалом заготовки) и сердцевина ^[1]. Было произведено измерение твердости на прирезцовой и свободной зонах для детального рассмотрения влияния резания на значение твердости. Варианты оребренных структур и расположение зон представлены на рисунке 2. Результаты измерения твердости в различных зонах оребренной структуры показали, что твердость в прирезцовой зоне больше, чем в свободной. Сравнение структуры и микротвердости образцов было проведено при различных параметрах резания, таких как подача и скорость резца. На каждом образце проводили измерение на произвольно выбранных участках ребер. По результатам исследования можно сделать вывод о том, что при повышенной скорости резания значения твердости ребер больше. Также было выявлено, что при меньшей подаче режущего инструмента твердость ребер выше.

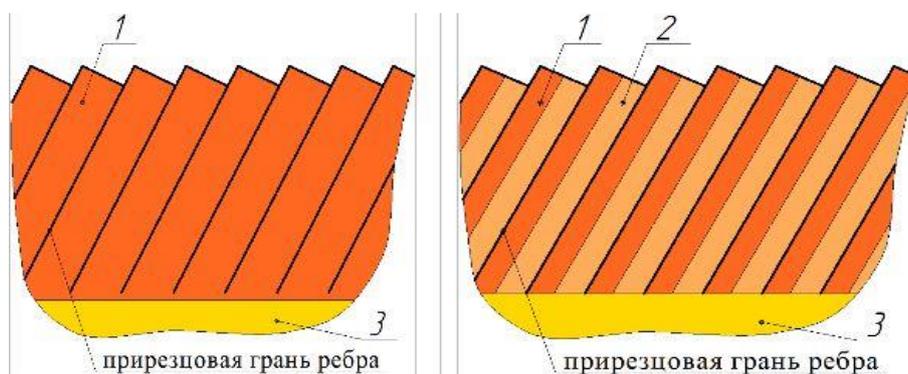


Рис. 2. Варианты оребренных структур: а) сквозная закалка ребра; б) частичная закалка ребра. 1- прирезцовая зона. 2 – свободная зона. 3 – зона основного материала.

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

1. По результатам растровой микроскопии можно сделать вывод о том, что во время деформирующего резания температурное поле неоднородно по ребру, оно максимально в прирезцовой зоне и минимально с противоположной стороны. Этот эффект влияет на значение твердости.

2. Варьируя параметры деформирующего резания возможно получение ребер с различным структурным состоянием и различными значениями твердости.

Литература

1. Дегтярева А. Г., Поцзов В.В., Симонов В.Н., Васильев С.Г., Варламова С.Б. Формирование закаленных структур в стали 35 методом деформирующего резания.
2. Варламова С.Б., Симонов В.Н. Исследование влияния высокоскоростного деформирующего резания на структуру и твердость Стали 35.
3. Варламова С.Б., Симонов В.Н. Исследование влияния высокоскоростного деформирующего резания на структуру и механические свойства сталей 35 и 40Х при температурах низкого отпуска.

УДК 621.789

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ У8А ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Константин Рамилевич Исаев⁽¹⁾, Алишер Рустамович Бурханов⁽²⁾

*Магистр 1 года⁽¹⁾, студент пятого курса⁽²⁾
кафедра "Материаловедения"*

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова

доктор технических наук, профессор кафедры "Материаловедение"

Используемые в настоящее время способы повышения износостойкости поверхностей деталей [2-5] (объемная термообработка, легирование, азотирование, лазерная закалка, напыление, наплавка и т.д.) требуют применения специализированного дорогостоящего оборудования, предварительной обработки упрочняемых поверхностей, дорогостоящих расходных материалов. В связи с этим практический интерес представляет метод упрочнения поверхностей стальных деталей электромеханической обработкой [1].

Электромеханическое воздействие реализуется при пропускании электрического тока большой плотности и низкого напряжения через зону контакта и инструмента. При этом происходит высокоскоростной нагрев локального микрообъема поверхности с одновременным ее пластическим деформированием упрочняющим инструментом и последующее интенсивное охлаждение за счет отвода тепла внутрь материала и охлаждения водой. В результате такого воздействия на поверхности материала образуется специфическая мартенситная структура.

Большим преимуществом электромеханической обработки (ЭМО) в сравнении с другими методами упрочнения является то, что отсутствует необходимость применения дополнительного воздействия – термообработки (отпуск), шлифования. Также к преимуществам ЭМО относится низкое энергопотребление и экологическая чистота [6].

Исследования выполнены на цилиндрических образцах из стали У8А, подготовленных на токарном винторезном станке модели 1В62Г. На этот же станок смонтирована установка электромеханической обработки, телескопическая державка, токопроводящие шины, токоподводящий ролик и твердосплавный инструмент. Обработку проводили по наружному диаметру. В ходе обработки были получены четыре поверхности: две поверхности после обработки бронзовым инструментальным роликом; поверхность после обработки твердосплавным инструментом; поверхность, полученная твердосплавным инструментом с проведением омеднения. Также проведено исследование место контакта контактного ролика.

В работе отражены результаты металлографических исследований после двух направлений электромеханической обработки: электромеханической поверхностной закалки и отделочно-упрочняющей электромеханической обработки.

Электромеханическую поверхностную закалку проводили при подаче инструмента 2 мм/об и 2,5 мм/об, на длину 10 мм. Закалку поверхности образца проводили при силе тока во вторичной цепи 400...800 А, напряжении 1,5...3 В, усилии прижатия инструментального ролика 500 Н и частоте вращения 10 об/мин. Измерения твердости обработанных участков поверхности проводили на микротвердомере EMCOTEST DuraScan. Микротвердость измеряли на толщине слоя от поверхности вглубь образцов, а так же вдоль закаленной поверхности.

Во всех образцах в закаленном слое глубиной до 0,7 мм формировалась градиентная структура с мелкоигльчатым мартенситом глубиной до 0,6 мм, переходной зоной и нижележащей исходной структурой. Отмечено более чем двухкратное повышение твердости поверхностного закаленного слоя. На исследуемой стали отчетливо просматривается переходная зона, где структура закалки перемещена с перлитной составляющей стали в интервале 0,6...0,7 мм. Глубина закаленного слоя после электромеханической поверхностной закалки составила до 1,0 мм, микротвердость закаленного слоя до 980 HV.

Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка основана на термомеханическом воздействии высококонцентрированного источника электрической энергии промышленной частоты на локальную область цилиндрических образцов. В результате отделочно-упрочняющей электромеханической обработки одновременно происходит поверхностная закалка стали У8А и формирование оптимальной микрогеометрии поверхностного слоя образцов.

Глубина закаленного слоя составила до 0,04, микротвердость закаленного слоя до 1050 HV при исходной твердости стали 238...302 HV.

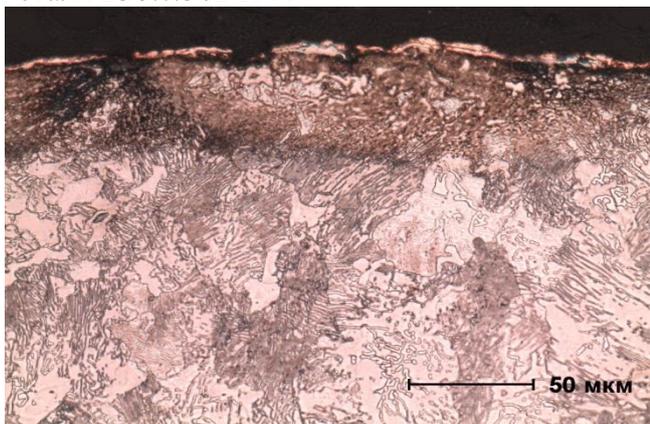


Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя стали У8А после электромеханической обработки

Измерения микротвердости поверхностного слоя высокоуглеродистой стали У8А во всех случаях обработки вне зависимости от используемого инструмента показало значительное повышение твердости. Исследование микроструктуры образцов показало, что повышение микротвердости вызвано образованием в поверхностном слое структуры мелкоигльчатого мартенсита.

Полученные данные позволяют заключить, что электромеханическая поверхностная закалка и отделочно-упрочняющей электромеханической обработки является эффективным способами упрочнения поверхностей.

Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Машиностроение. Ленинградское отделение. 1977. 184 с.

2. *Балтер М.А.* Упрочнение деталей машин. М.: Машиностроение, 1978. 198 с.
3. *Материаловедение: Учебник для вузов/ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.: ил.*
4. *Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергий/ А.П. Семенов, И.Б. Ковш, И.М. Петрова и др. М.: Наука, 1992. 404 с.*
5. *Научные основы материаловедения: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, А.И. Крашенинников, Ж.П. Пастухова, А.Г. Рахштадт. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. 366 с.*
6. *Федоров С.К., Федорова Л.В.* Закалка, отделочно-упрочняющая обработка и восстановление деталей электромеханическим способом./ С.К. Федоров, Л.В. Федорова. – Москва, 2010. – 60 с.

УДК 678.0

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО БИМЕДИЦИНСКОГО МАТЕРИАЛА “НИТИНОЛ – ХИТОЗАН”

Михаил Александрович Каплан

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”, заведующий лабораторией №10.

В медицине металлы и сплавы играют важную роль в качестве имплантируемых материалов. Сегодня тяжело представить область медицины, где имплантаты не использовались бы в качестве важнейших функциональных элементов. С появлением никелида титана – TiNi, который обладает высокими физико-механическими свойствами (эффектом памяти формы и сверхэластичностью), появилась возможность разработать имплантаты, практически для всех областей медицины.

Сплав из никелида титана выбран, как наиболее эффективный материал, 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 канцерогенное и мутагенное воздействие, повреждение ДНК, РНК, возникновение кислородных радикалов и так далее), контактирующего с физиологическими тканями и жидкостями. Кроме того коррозия материала в агрессивных, в том числе биологических, средах может приводить к разрушению изделия.

В связи с этим возникает необходимость в создании биосовместимого барьера между никелидом титана и окружающей средой, который не мешал бы проявлению никелидом титана своих механических характеристик. В качестве такого барьера был выбран полимерный слой природного происхождения – хитозан, который к тому же может служить матрицей для внесения некоторых соединений, например, лекарственных веществ, и подлежит постепенной

биодegradации, что можно использовать для дополнительного мадикаментозного воздействия при использовании имплантатов.

Целью данной работы является создание композиционного материала на основе наноструктурного никелида титана с поверхностным слоем из хитозана.

Для получения композиционного материала использовалась наноструктурная проволока диаметром 280 мкм из никелида титана (50,9 ат.% Ni) и хитозан различной молекулярной массы. Для удаления дефектов после волочения, проводилась механическая обработка наждачной шкуркой. Также проволока 15 минут подвергалась отжигу, при $T=450$ °С, что повышало ее физико-механические свойства.

Растворы хитозана для получения композиционного материала готовили на основе уксусной, соляной, фосфорной и глутаминовой кислот концентрации 3 и 4%. Их перемешивали до гомогенного состояния в течение полутора часов с помощью верхнеприводной мешалки при температуре раствора 40 °С. Фиксирующий раствор готовили смешением 66,6% аммиачной воды и 33,3% этилового спирта.

Проволоку окунали в раствор хитозана (+5 °С), далее перекладывали в фиксирующий раствор, для нейтрализации и удаления кислот, и выдерживали в течении 5 минут. Сушку проволоки проводили в течении 24 часов, при $T=37$ °С.

Полученный композиционный материал подвергали микроструктурному анализу поверхности, контролю толщины покрытия и смотрели излом разрушения, а так же определяли значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, предела прочности σ_b и относительного удлинения δ .

Расчет и анализ межплоскостных расстояний электронограммы показал, что они соответствуют В2-фазе. Нанесение биодegradируемого поверхностного слоя любого состава не изменяет свойства материала основы. Незначительное разрушение поверхностного слоя начинается после прохождения предела текучести. Основа разрушалась с образованием шейки в отличии от поверхностного полимерного слоя. Поверхность разрушения была ориентирована практически перпендикулярно оси растяжения. Местом зарождения приводящей к разрушению магистральной поперечной трещины являются наиболее крупные дефекты на поверхности образца в зоне шейки. Толщина поверхностного полимерного слоя составила 25-30 мкм.

Литература

1. Гюнтер В.Э. и соавт. Имплантаты с памятью формы в медицине. Northampton, Massachusetts, USA: STT, 2002. 234 с.
2. Гюнтер В.Э., Итин В.И. и др. Эффекты памяти формы и их применение в медицине. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992. – С. 170-176.
3. Wever DJ, Veldhuizen AG, de Vries J, Busscher HJ, Uges DRA, van Horn JR (1998) Electrochemical and surface characterization of a nickel-titanium alloy. *Biomaterials* 19:761
4. 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.
5. 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 621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Олег Геннадьевич Карапузов

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Среди современных упрочняющих технологий, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики, центральное место принадлежит химико-термической обработке [1, 2].

В настоящее время в наибольшей мере отвечает требованиям интенсивной, гибкой и энергосберегающей технологии процесс вакуумной цементации. За рубежом этот процесс признан самым приоритетным. Процесс вакуумной цементации в 2,5-4 раза интенсифицирует диффузионное насыщение, ограничивая его 2...4 часами, повышает качество диффузионных слоев, значительно (на 80...90%) уменьшается расход электроэнергии и технологических газов. При вакуумной цементации возможно формирование качественных диффузионных слоев, что заметно увеличивает несущую способность деталей машин. Вместе с тем вакуумная цементация - слабо разработанный технологический процесс. До настоящего времени преобладает экспериментальный метод выбора технологических режимов, который не позволяет реализовать большие технологические возможности нового процесса.

Для разработки технологии вакуумной цементации необходимо установление закономерностей, отражающих влияние управляющих технологических параметров на характеристики цементованного слоя. Важным фактором для установления таких закономерностей является выяснение механизма переноса углерода из газовой среды к насыщаемой поверхности и механизма формирования диффузионного слоя.

Разработка режимов вакуумной цементации, основанных на математической модели процессов диффузионного насыщения - необходимый этап для регламентации процесса науглероживания. Построение такой модели, в основе которой лежит описание кинетики диффузионного насыщения при выбранных технологических параметрах, представляет из себя сложную техническую задачу. Особой значимостью обладает построение ключевого звена математической модели - граничного условия, отражающего взаимодействие углеродсодержащих частиц с обрабатываемой поверхностью.

Построение математической модели вакуумной цементации важно для двух групп сталей. В первую группу входят низколегированные стали, диффузионное насыщение которых проводится в пределах твердого раствора без образования частиц избыточной карбидной фазы. Вторую группу сталей образуют комплексно-легированные теплостойкие стали, используемые в авиационной промышленности. Диффузионное насыщение таких сталей сопровождается образованием частиц развитой карбидной фазы сложного состава. [2, 3].

Цель работы - определение влияния временных параметров технологии вакуумной цементации малоуглеродистых сталей на основе математической модели процессов диффузионного насыщения при низком давлении.

Процесс науглероживания проводят при постоянной температуре, давлении, и расходе углеводорода (газовой смеси).

Определение влияния геометрических характеристик деталей на особенности использования математической модели ВЦ путем исследования образцов с плоскими и цилиндрическими поверхностями показали, что геометрические характеристики не влияют на эффективность процесса ВЦ.

Проведение расчетов распределения концентрации углерода по толщине диффузионного слоя в углеродистых сталях при различных режимах ВЦ показало зависимость этой характеристики от технологических параметров ВЦ и представляет собой характерную для цементации кривую (рис. 1).

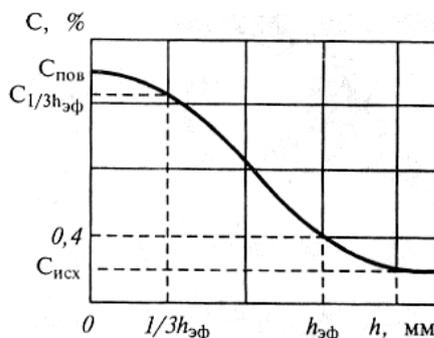


Рис. 1. Распределение концентрации углерода по толщине цементованного слоя

Определение влияния временных факторов ВЦ на параметры диффузионного слоя происходило путем установления влияния общего времени циклического насыщения, влияния суммарного времени активной и пассивной стадии циклического насыщения, а также влияния количества циклов.

Температура существенно влияет на толщину диффузионного слоя. Ее повышение сопровождается увеличением толщины слоя по экспоненциальной зависимости. При повышенной температуре время обработки сокращается до 2...4 ч. Из-за малой продолжительности обработки рост зерна в стали практически не наблюдается.

Выводы

1. Установлено, что геометрические характеристики не влияют на эффективность процесса ВЦ.
2. Выявлено влияние временных факторов ВЦ на параметры диффузионного слоя.
3. Полученный после режима ВЦ слой приобретает твердую (60—64 HRC) поверхность, детали сохраняют вязкую (при твердости 38—43 HRC) сердцевину, устойчивую к ударным нагрузкам.

Литература

1. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. - 256 с.
2. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение. Учебник для технических вузов. 3-е издание. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 646 с.
3. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1978. - 392с.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ

Полина Вадимовна Карлова ⁽¹⁾, Виктория Юрьевна Скидченко ⁽²⁾

Студент 3 курса ^{(1),(2)}

кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Г. В. Малышева

доктор технических наук, профессор кафедры «СМ-13»;

И. В. Бессонов

инженер 1 категории, аспирант кафедры «ФН-5»

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию технологии получения нового полимерного нанокompозита. Экспериментально проведено определение термической стабильности нового композиционного материала на основе силоксанового каучука и многостенных углеродных нанотрубок (УНТ). Отработана технология получения нанокompозита, по полученным данным выбрана дисперсионная среда для диспергирования УНТ. Температура начала термической деструкции полученного полимерного нанокompозита, по сравнению с исходным силоксановым каучуком была увеличена с 145,1 °С до 187,5 °С, потеря массы уменьшилась с 3,74% до 2,22%.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, термостойкость, технология, силоксановый каучук, композиционный материал

Введение.

Полимерные композиционные материалы постепенно вытесняют традиционные металлы и сплавы и все шире используются в качестве конструкционного материала в самых различных отраслях промышленности и в строительстве [1-6]. Для повышения термической, радиационной стабильности полимерных матриц в их состав вводят углеродные наноматериалы (фуллерены, углеродные нанотрубки, углеродные волокна).

Для увеличения термической стабильности (диапазона рабочих температур и при этом, наименьшей потери массы) силоксанового каучука был создан композиционный материал, в котором данный каучук выступает в качестве матрицы, а наполнителем служат многослойные углеродные нанотрубки.

Целью настоящей работы был выбор растворителя для диспергирования углеродных нанотрубок (УНТ).

Наша задача заключалась во введение максимально возможного количества УНТ, но важно отметить, что введение углеродных наноматериалов (углеродные нанотрубки, фуллерены) в концентрации близкой к порогу перколяции (~1%) сопряжено со значительными технологическими затруднениями, так как углеродные нанотрубки образуют плотные кластеры и агрегаты благодаря силам Ван-дер-Ваальса, своей геометрической форме. Поверхностная энергия таких кластеров меньше, чем поверхностная энергия индивидуальных нанотрубок. Для диспергирования углеродных нанотрубок применяются специальные экспериментальные техники, в частности воздействие ультразвуком большой мощности.[7]

Введение УНТ в силоксановую матрицу напрямую невозможно из-за невозможности равномерного распределения наполнителя по объему матрицы. Для проведения диспергирования УНТ, чтобы подготовить их к введению в матрицу, использовались различные вещества, называемые дисперсионной средой.

Эксперимент

Был использован метод введения многостенных углеродных нанотрубок (УНТ) марки Baytubes® C 150 P (Bayer)(до 1%) в матрицу силиконового каучука марки П-9628-2 с помощью механической мешалки IKA RW20 digital.

Для решения поставленной задачи были изготовлены несколько образцов, в которых варьировалась дисперсионная среда (этанол, хлороформ, толуол, хлорбензол, дихлорэтан). УНТ смешивались с дисперсионной средой и, с помощью ультразвука, создавалась устойчивая коллоидная система. Далее, эта система смешивалась с помощью механической мешалки с матрицей. Затем исследовалась вязкость полученных образцов на вискозиметре CAP 2000+. В дальнейшем, эти образцы были исследованы методом термогравиметрического анализа (ТГА) на приборе Netzsch TG 209 F1 Perseus, оснащённом газовой кюветой с ИК-детектором Bruker Alpha, в алюминиевых тиглях Netzsch NGB810419. Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты экспериментов.

№ образца	Растворитель	Изменение массы, %	Температура деструкции, °С	Вязкость
0	-	3,74	145,1	-
1	этанол	2,72	129,5	3,9
2	этанол	3,93	109,5	5,2
3	хлороформ	3,02	110,6	5,7
4	толуол	2,37	140,1	4,8
5	хлорбензол	78,13	199,8	11
6	дихлорэтан	2,22	187,5	6,2

Выводы.

Выбрана методика диспергирования многослойных УНТ. Дихлорэтан определен, как наиболее подходящее вещество, для использования в качестве дисперсионной среды. Температура начала термической деструкции полученного полимерного нанокompозита, по сравнению с исходным силиконовым каучуком была увеличена с 145,1 °С до 187,5 °С, потеря массы уменьшилась с 3,74% до 2,22%.

Литература

1. *Нелюб В.А., Гращенко Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А.* Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластика // Химическая промышленность. 2012. № 12. С.735.
2. *Нелюб В.А., Карасева А.А., Боченкова А.А.* Конструкционные стеклопластики на основе полиэфирной матрицы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 7. С.46-49.
3. *Гузева Т.А.* Новые подходы к повышению эффективности производства деталей из органопластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 7. С.53-56.
4. *Нелюб В.А.* Новые материалы и технология изготовления деталей из стеклопластиков на основе полиэфирной матрицы // Материаловедение. 2012. № 7. С.30-33.
5. *Муранов А.Н., Малышева Г.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С.* Исследование свойств полимерных композиционных материалов на основе гетерогенной матрицы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 4. С.2-6.
6. *Александров Н.А., Малышева Г.В., Нелюб В.А.* Исследование поверхностей разрушения углеродных нанотрубок, изготовленных по расплавной и растворной технологиям // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 3. С.7.

7. Watts P.C.P., Fearon P.K., Hsu W.K., Billingham N.C., Kroto H.W., Walton D.R.M.. Carbon nanotubes as polymer antioxidants. // J. Mater. Chem. 2003. I. 13. P. 491-495.

УДК 678

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИПОЛИСУЛЬФОНОВОЙ МАТРИЦЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФУРФУРОЛАЦЕТОНОВЫМ ОЛИГОМЕРОМ

Алексей Валерьевич Кирейнов

Аспирант 1 года обучения

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.В. Бессонов

ведущий инженер МИЦ КМ.

Пластики, армированные непрерывными волокнами, нашли широкое применение в разных отраслях техники [1,2]. Однако в настоящее время такие материалы должны обладать не только высокой прочностью, но и рядом специфических свойств, например, высокой трещиностойкостью, стойкостью к удару и высокими барьерными характеристиками.

Для решения поставленных задач все шире применяют теплостойкие термопласты [3]. Однако использование этих полимеров в качестве модификаторов для эпоксидных смол связано с рядом технологических проблем и прежде всего с высокой вязкостью системы эпоксидная смола – термопласт [4]. Существует два пути их решения. Первый заключается в применении легколетучих растворителей. Основной недостаток этого способа - высокая пористость полученного изделия. Второй - в применении активного разбавителя, который хорошо совмещается с эпоксиполисульфоновой системой. Один из таких разбавителей - фурфуролацетонная смола ФА5 [5,6,7], синтезированная в лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана. Синтетические смолы на основе фурфурола нашли широкое применение в качестве связующих благодаря таким свойствам, как устойчивость к горению и кислотам, малая вязкость, хорошие физико-механические свойства, низкая цена.

В работе исследуются реологические свойства эпоксиполисульфоновых связующих, модифицированных ФА5 и физико-механические свойства стеклопластиков на их основе.

В качестве связующего использовали эпоксидный олигомер LY-556 (HUNTSMAN). Модификаторами служили полисульфон ПСК-1, концентрация которого составляла 10 и 20 м.ч. и фурановая смола ФА5, содержание которой составляло 10 м.ч. от LY-556. Полимерные смеси получали перемешиванием компонентов при температуре 100 °С в течение 2-6 ч. В результате они полностью совмещались. Приготовленные смеси исследовали на ротационном вискозиметре Реотест 2-11 при температурах от 80 °С до 120 °С в широком диапазоне скоростей сдвига. Далее в приготовленные системы вводили отвердитель триэтаноламинотитанат (10 м.ч. от LY-556). Стеклопластики изготавливали методом намотки стеклянной ровницы РВМПН 10-420-80 на цилиндрические оправки. Затем намотанные образцы отверждали 2 ч при температуре 120 °С и 6 ч при 160 °С. Кольцевые образцы разрезали на сегменты в зависимости от вида испытания.

Прочность при сдвиге определяли методом короткой балки [8] при квазистатической и динамической скоростях нагружения. Удельную вязкость разрушения G_{IR} измеряли по методу расслоения двухконсольной балки [9].

Показано, что при введении 10 м.ч. ФА5 значительно снижается вязкость эпоксиполисульфонового связующего. Такое снижение вязкости позволило перейти к традиционной намотке [4] стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной 10 м.ч. ПСК-1 и 10 м.ч. ФА5. При более высокой концентрации ПСК-1 (20 м.ч.) в эпоксидном связующем, содержащем 10 м.ч. фуранового олигомера, отказаться от технологии намотки для высоковязких связующих [4] не удалось. Однако, добавление ФА5 позволило снизить температуру намотки на 20 °С без потери качества стеклопластиков.

Все образцы стеклопластиков имели практически одинаковую пористость, около 1 об. %. Содержание волокна составляет около 70 об. %. Модифицирование эпоксидного олигомера полисульфоном ПСК-1 и фурфууролацетоновым олигомером ФА5 мало влияет на прочность стеклопластиков при сдвиге. Добавление 10 м.ч. ФА5 в эпоксидную матрицу снижает трещиностойкость на 20 % (см. рис. 1). Введение 10 м.ч. ПСК-1 в LY-556 повышает трещиностойкость стеклопластика на 61 %. Однако, совместное использование компонентов в этом случае не приводит к значительному росту трещиностойкости. Эффект от совместного введения фуранового олигомера и полисульфона достигается при использовании эпоксидных композиций, содержащих 10 м.ч. частей ФА5 и 20 м.ч. ПСК-1. Значение G_{IR} удалось повысить на 78 %. Следует отметить, что разница между композициями LY556 + 20 м.ч. ПСК-1 и LY556 + 20 м.ч. ПСК-1 + 10 м.ч. ФА5 небольшая и соизмерима с разбросом данных.

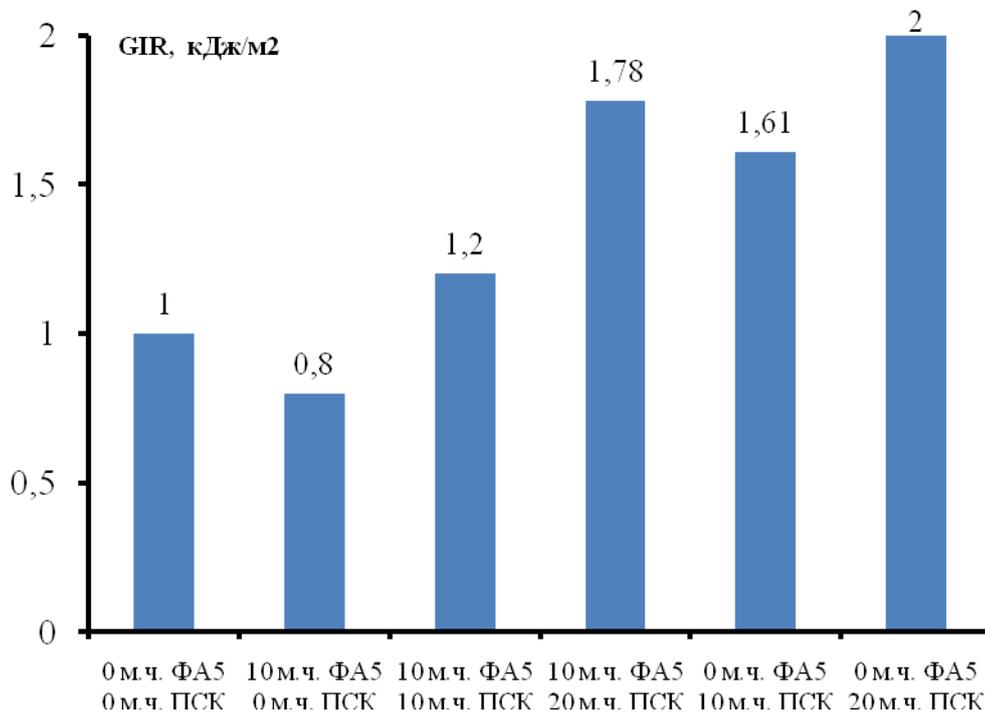


Рис. 1. Трещиностойкость G_{IR} стеклопластиков на основе эпоксидной матрицы, модифицированной фурановым олигомером ФА5 и полисульфоном ПСК-1.

Таким образом модифицирование эпоксиполисульфонового связующего фурфууролацетоновой смолой ФА5 позволяет существенно снизить вязкость гибридной композиции и значительно улучшить трещиностойкость стеклопластиков на ее основе.

Литература

1. Нелюб В.А., Гращенков Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А. Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков //Химическая технология. 2012. № 12. С.735-739.

2. *Нелюб В.А.* Технологии производства деталей опор линий электропередач из эпоксидных связующих методами намотки // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №6. С.25-29.
3. *Михайлин Ю.А.* Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: 2006. 610 с.
4. *В. И. Солодилов, Ю. А. Горбаткина.* Свойства однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном или эпоксиуретановым олигомером // Механика композитных материалов.— 2006.— т. 42, № 6. — с. 739—758.
5. *И.В. Бессонов, М.Н. Копицына, В.А. Нелюб.* Использование фурфурелиденацетонов в качестве активных разбавителей для снижения вязкости эпоксидных смол. Журнал общей химии, 2014, № 12. С. 2023-2028.
6. *Полежаев А.В., Бессонов И.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.С., Бородулин А.С.* Исследование реакции конденсации фурфурола с ацетоном // Энциклопедия инженера-химика. 2013. № 1. С.36-43.
7. *Бессонов И.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С.* Разработка технологической базы для производства синтетических связующих на основе растительного биовозобновляемого сырья // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №8. С.47-48.
8. Композиционные материалы / Под ред. *В. В. Васильева, Ю. М. Тарнапольского.* — М.: Машиностроение, 1990. — 512 с.
9. *В.И Солодилов, С.Л Баженов, Ю.А Горбаткина, А.М. Куперман.* Определение энергии межслоевого разрушения стеклопластика на образцах в виде сегментов кольца // Механика композитных материалов. – 2003.- т. 38. - № 5 – с. 615 - 626.

УДК 620.178

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ

Анастасия Алексеевна Климкина

Студент 1 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: *С.А. Пахомова*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Шарикоподшипниковые стали подвержены воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая износостойкость, прочность, предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, немаetalлических включений, а также их размерная стабильность (рис. 1) [1].



Рис. 1. Основные детали подшипника:

1 – наружное кольцо, 2 – тела качения, 3 – сепаратор, 4 – внутреннее кольцо

Основная причина повреждения подшипников связана с развитием процессов контактной усталости. Причина усталостных повреждений – высокие напряжения сдвига в подповерхностных слоях дорожек качения, порождающие трещины, которые распространяются по направлению к поверхности. Перекатывание тел качения по трещинам приводит к скалыванию (выкрашиванию) частиц материала, из которого изготовлен подшипник. Этот процесс постоянно усиливается не только из-за роста напряжений, но и под действием продуктов контактного изнашивания – частиц выкрашивания [1, 2].

Для обеспечения работоспособности основных деталей подшипников, работающих в условиях высоких контактных напряжений и изнашивания, материал должен иметь повышенную прочность, структурную однородность и твердость [2].

Для изготовления деталей прецизионных подшипников качения часто используют коррозионностойкие стали 60X13C-ШД, 95X18-Ш и 110X18M-ШД. Для обеспечения заданных свойств, изделия из этих сталей закаляют, обрабатывают холодом и однократно отпускают – это самая распространенная термическая обработка на сегодняшний день.

Для нагрева под закалку используют соляные ванны и печи с защитной атмосферой, в качестве закалочной среды используют масло. Недостатки такой ТО: а) применение соляных ванн и печей с защитной атмосферой не дает полной гарантии отсутствия окисления; б) возможно перераспределение легирующих элементов в поверхностном слое из-за их внутреннего окисления; в) необходимость тщательной очистки изделий после термической обработки.

Указанных недостатков лишена термообработка в новых вакуумных печах. Неоспоримые преимущества вакуумной ТО: а) после упрочняющей обработки получается чистая, лишенная окалины поверхность; б) из технологического цикла исключается операция мойки и повышается культура производства.

Цель работы: установление эффективности и выбор оптимальных режимов вакуумной термической обработки, обеспечивающей твердость 58...63 HRC. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: 1) определить время прогрева детали с учетом заданного поперечного сечения изделий; 2) определить давление охлаждающего газа при минимальном искажении их геометрии.

Сопоставление результатов измерений тестовых колец и результатов испытаний на контактную выносливость дало возможность определить оптимальное с точки зрения полученных результатов давление охлаждающего газа, которое составило 0,6 МПа.

Для контроля результатов ТО изделий использовали измерение твердости по Роквеллу (HRC) образцов-свидетелей (табл. 1), а также анализ микроструктуры после различных операций упрочняющей обработки. Видно, что их твердость после различных операций ТО и после полной ТО соответствует предъявляемым к подшипникам требованиям (58...63 HRC).

Таблица 1. Результаты измерения твердости образцов-свидетелей после различных операций термической обработки

Материал	Твердость HRC в различных состояниях		
	после закалки	после обработки холодом	после отпуска
60X13C-ШД	58,8...59,4	59,9...61,3	58,3...59,8
95X18-Ш	59,1...60,0	60,9...61,7	58,0...58,3
110X18M-ШД	54,9...60,3	61,6...64,2	58,8...61,0

Выводы:

Установлена целесообразность использования вакуумной термической обработки для упрочнения колец и шариков шарикоподшипников из коррозионностойких сталей вместо стандартной термической обработки.

Определено время прогрева деталей при закалке для обеспечения заданных свойств изделий.

Результаты испытаний на контактную выносливость показывают возможность повышения контактной прочности обрабатываемых изделий при увеличении давления охлаждающего газа до 0,6 МПа.

Литература

1. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х томах. М.: Машиностроение, 2001.
2. *Тарасенко Л.В., Пахомова С.А., Унчикова М.В.* Материаловедение. - М.: Инфа-М, 2013 – 267 с.

УДК 621.785.53

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СВАРИВАЕМЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Ольга Юрьевна Козлова

Студент 4 курса,

Кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. баумана

Научные руководители: С.В. Овсепян,

кандидат технических наук, начальник лаборатории №3 ФГУП «ВИАМ»

А.С. Помельникова

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Московский государственный технический университет

Одним из важных узлов в конструкции газотурбинного двигателя (ГТД) является жаровая труба камеры сгорания, материал которой должен быть длительное время работоспособен в интервале температур 900-1100 °С. Серийные жаропрочные свариваемые сплавы ВЖ98 и ВЖ159, с рабочей температурой до 1050 °С, используются для жаровых труб авиационных ГТД [1]. Они имеют хорошую технологичность, свариваются всеми видами сварки. Гомогенный сплав ВЖ98 легирован вольфрамом (10 – 16%) и титаном (0,5%). Сплав ВЖ159 молибденом 4,5% (Nb+Al) структурно стабилен, упрочняется частицами γ' -фазы ($Ni_3Al(Nb)$), что обеспечивает высокие характеристики кратковременной пластичности, технологичность и жаропрочность на уровне сплава ВЖ98 [2].

Сплав марки ВЖ171, разработанный во ФГУП «ВИАМ», относится к новому классу материалов, упрочняемых в процессе химико-термической обработки (ХТО) – высокотемпературного азотирования [3], активно осваивается в промышленности [4].

В результате высокотемпературного азотирования происходит образование стабильных нитридов по всему объему материала, которые не растворяются до температуры плавления сплава и обеспечивают высокий уровень свойств. Материал такого класса известен и за рубежом (NS-163 фирмы Haynes) [5].

Целью данной работы является исследование влияния высокотемпературной ХТО на структуру и свойства свариваемых жаропрочных никелевых сплавов с разным типом легирования.

В процессе исследования было проведено высокотемпературное азотирование образцов толщиной 1,2 мм сплавов ВЖ98 и ВЖ171 (содержащих Ti), и ВЖ159 (Nb и Al), и изучены их

микроструктура и свойства. Микроструктура сплавов ВЖ159 и ВЖ171 представлена на рисунке 1.

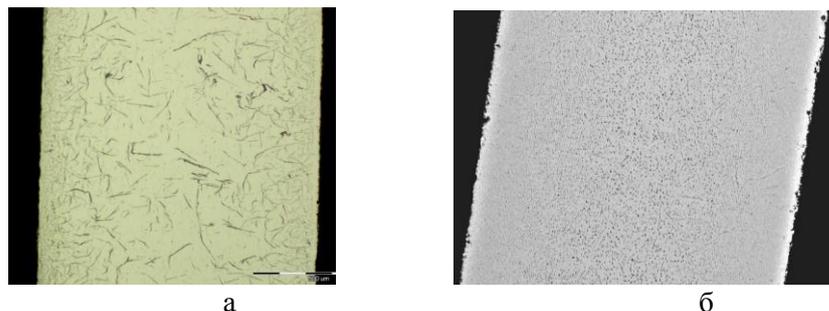


Рис. 1. Микроструктура сплавов ВЖ159 (а) и ВЖ171 (б), $\times 100$

Установлено, что в процессе азотирования в сплавах ВЖ98 и ВЖ171 образуются нитриды по всему объему листа. Количество нитридов прямо пропорционально содержанию титана. Для сплава ВЖ171 они равномерно распределены по всему сечению, как в теле зерен, так и по их границам. В сплаве ВЖ159 ниобий и алюминий образуют с азотом частицы игольчатой формы.

Свойства исследуемых сплавов до и после химико-термической обработки показаны в таблице 1.

Таблица 1. Свойства сплавов до и после ХТО

Сплав	σ_b^{20} , МПа	$\sigma_{0,2}^{20}$, МПа	δ^{20} , %	τ^{1000} до разрушения, час
ВЖ98	<u>885</u>	<u>345</u>	<u>65</u>	($\sigma=25$ МПа)
	458	365	17,4	<u>100</u> 456
ВЖ171	<u>830</u>	<u>370</u>	<u>90</u>	($\sigma=65$ МПа)
	850	530	10	<u>55</u> 100
ВЖ159	<u>1100</u>	<u>580</u>	<u>45</u>	($\sigma=26$ МПа)
	416	–	1,6	<u>100</u> -*

Примечание: числитель – до ХТО, знаменатель – после ХТО;

* разрушился при нагружении.

Высокотемпературная химико-термическая обработка положительно влияет на жаропрочность сплавов, содержащих титан (ВЖ98, ВЖ159), повышая время до разрушения (в 2-4 раза) при температуре испытания 1000°C . Титан повышает характеристики сплавов после ХТО за счет образования стабильных нитридов компактной формы. Игольчатые нитриды на основе ниобия и алюминия в сплаве ВЖ159 охрупчивают материал и отрицательно влияют на механические свойства.

Сплав ВЖ171, имеющий сбалансированный химический состав, показывает наиболее высокий уровень прочности и жаропрочности после химико-термической обработки.

Литература

1. Латышев В.Б. Жаропрочные деформируемые свариваемые сплавы для камер сгорания //Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: Науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 273–278.

2. Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М., Мазалов И.С. Высокотемпературные жаропрочные никелевые сплавы для деталей газотурбинных двигателей //Авиационные материалы и технологии. №5. 2012. С. 52-57
3. Овсепян С.В., Бокштейн Б.С., Ахмедзянов М.В., Родин А.О., Мазалов И.С. Кинетика роста частиц нитридов в процессе высокотемпературного объемного азотирования деформируемого сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti //Материаловедение. 2014. №6. С. 21–25.
4. Ахмедзянов М.В., Скугорев А.В., Овсепян С.В., Мазалов И.С. Разработка ресурсосберегающей технологии получения холоднокатаного листа из высокожаропрочного свариваемого сплава ВЖ171 //Производство проката. 2015. №1. С. 14–17.
5. Fahrman M., Srivastava S.K. Nitridation of HAYNES® NS-163® Alloy: Thermodynamics and Kinetics //JOM. Vol. 64 №2. 2012.pp. 280-287.

УДК 620.18: 669-419:621.771

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА АНОМАЛЬНО ВЫСОКИЕ ЗНАЧЕНИЯ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ВЯЗКО-ХРУПКОГО ПЕРЕХОДА

Александра Олеговна Константинова

Студентка 3 курса,

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Явление хладноломкости в сталях, имеющих объемно-центрированную (ОЦК) решетку, хорошо известно. Однако, в последнее время стали известны результаты, показывающие положительное влияние особого вида структур на значения ударной вязкости (рис.1) ферритных сталей в области низких климатических температур [1, 2]. В частности, при проведении специальных видов термомеханической обработки, в низколегированных сталях формируется слоистая структура, за счет которой резко возрастают значения ударной вязкости, и формируется специальный вид излома, имеющего террасное строение (рис. 2).

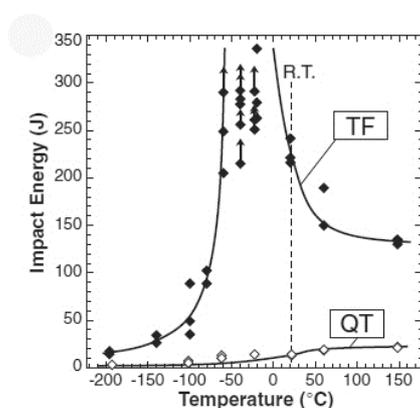


Рис.1. Зависимость энергии разрушения ударных образцов Шарпи для двух видов обработки QT и TF [1]

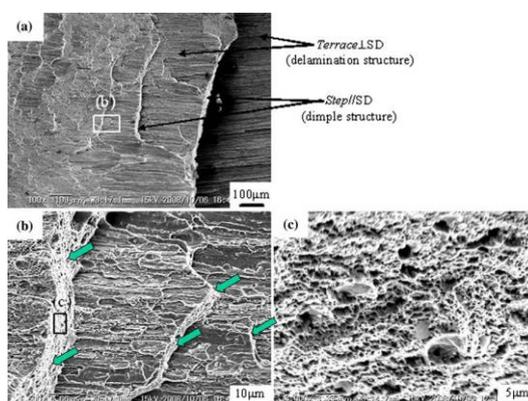


Рис. 2. Электронная микрофотография поверхности разрушения [2]

Необходимо отметить, что это не первые сведения о явлении подобного рода. Так в работах [3, 4] приводятся данные о том, что при определенных условиях теплой или горячей деформации сплавов с ОЦК-решеткой без рекристаллизации возможно образование такой субструктуры, которая в ходе последующих ударных испытаний вызывает появление трещин расслоения поперек основной трещины и способствует тем самым росту энергоемкости и снижению температуры вязко-хрупкого перехода [5].

Похожее предположение высказывают так же авторы работ [6, 7]. По их мнению, трещины расслоения возникают в ходе движения основной трещины, и их образование как бы уменьшает ширину образца и меняет характер напряженного состояния. Ситуация очень напоминает разрушение слоистого образца, когда трещина разрушения ориентирована перпендикулярно слоям, но движется в направлении параллельно им [8].

Известны и более ранние работы, в которых приводятся данные о положительном влиянии специального рода многослойных структур в стальных паяных материалах [9, 10]. Можно видеть (рис. 3,4), что увеличение количества слоев в материале ведет как к повышению значений ударной вязкости, так и снижению порога вязко-хрупкого перехода.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что основным фактором, влияющим на повышение значений ударной вязкости в металлических материалах со слоистой структурой, является дополнительная работа, которая затрачивается на преодоление межслойной границы. Эта работа идет на раскрытие этой границы в направлении перпендикулярном основному направлению движения магистральной трещины (рис.3).

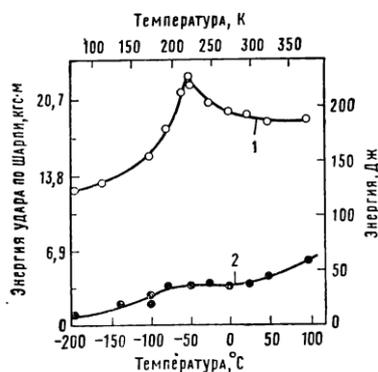


Рис.3. Зависимость энергии удара по Шарпи для однородной стали AISI 4340 и слоистого материала припой и сталь AISI 4340 [9]

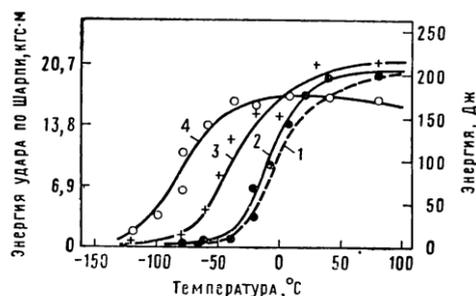


Рис. 4. Зависимость энергии удара по Шарпи от температуры однородного и слоистого материала припой – сталь. Цифры у кривых – количество слоев в материале [10]

Литература

1. *Y. Kimura, T. Inoue, F. Yin, and K. Tsuzaki* Inverse Temperature Dependence of Toughness in an Ultrafine Grain-Structure Steel: Science, 2008, vol. 320, pp. 1057–1060.
2. *T. Inoue, F. Yin, Y. Kimura, K. Tsuzaki* Metall. Mater. Trans. A, 2010, vol. 41A, pp. 341–355.
3. *Одесский П.Д., Ведяков И.И., Горпинченко В.М.* Предотвращение хрупких разрушений металлических конструкций. М.: СП Интермет инжиниринг, 1998. 219 с.
4. *Гладштейн Л.И., Литвиненко Д.А., Онучин Л.Г.* Структура и свойства аустенита горячекатаной стали. М.: Металлургия, 1983. 11 с.
5. *Счастливец И.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. и др.* Эффект повышения ударной вязкости при формировании слоистой структуры в процессе горячей прокатки ферритной стали//Доклады Академии наук, 2010, Т.433, №1, С. 42-45
6. *Мирзаев Д.А., Шабуров Д.В., Яковлева И.Л. и др.* Исследование причин повышения вязкости ферритной стали 08X18T1 в результате повторной горячей прокатки//ФММ, 2004, Т.98. С.90 – 98

7. *Мирзаев Д.А., Шабуров Д.В., Яковлева И.Л.* и др. Влияние повторной горячей прокатки на ударную вязкость ферритной стали 08X18T1, охрупченной при исходной горячей прокатке//Деформация и разрушение. 2006, № 3. С.24 – 30.
8. *Яковлева И.Л., Терещенко Н.А., Мирзаев Д.А.* и др. Ударная вязкость и пластические свойства составных слоистых образцов по сравнению с монолитными//ФММ, 2007, Т104, №2, С.212 – 221.
9. *Timbury, J.S., Pech, N.S.* Trans TMS AIME 245, (1967) pp. 2529-2536
10. *Wright, E.S.* (1967) Deformation and Fracture of plastically Anisotropic laminates.

УДК 53.084.823

ПОЛУЧЕНИЕ БИОМАТЕРИАЛА Ti-Nb-Ta ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Сергей Викторович Конушкин

Студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Г. Колмаков

доктор технических наук, зам. директора ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН по научной работе

Сплавы медицинского назначения должны отвечать требованиям биомеханической и биохимической совместимости с организмом человека. Например, материал ножек бедренных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава должен обладать модулем Юнга 10-40 ГПа, проявлять эффект сверхупругости более 0,5 %, $\sigma_b \geq 800$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 500$ МПа, $\delta \geq 8\%$, $\sigma_{-1} \geq 400$ МПа, содержать только биосовместимые составляющие, разрешенные к медицинскому применению, и обладать высокими антикоррозийными свойствами в средах организма.

Сплавы на основе титана нашли широкое применение в качестве материалов для медицинских изделий благодаря уникальному сочетанию свойств: высокой прочности, малой плотности, высокой коррозионной стойкости, хорошей биосовместимости, благодаря образованию на поверхности прочной защитной биоинертной пленки из диоксида титана. Однако по своим механическим свойствам титан плохо совместим с костной тканью, так как имеет более высокий модуль Юнга (105 ГПа). В результате, в процессе эксплуатации в системе «кость – имплант» большая часть нагрузки приходится на титановый имплант, из-за чего костная ткань не подвергается достаточному воздействию механических напряжений, что приводит к постепенной резорбции кости и ослаблению фиксации импланта.

Активно используемым материалом для медицинских имплантов (в том числе типа «стент») является никелид титана (нитинол, Ti-Ni). Он обладает эффектами памяти формы и сверхупругости, что значительно повышает его биомеханическую совместимость, но он содержит канцерогенный никель, ионы которого могут попасть в организм при повреждении защитной оксидной пленки и вызвать аллергическую реакцию. Также важно, что нитинол является химическим соединением; это влечет за собой резкую зависимость его свойств от состава, который, как правило, не может быть гарантирован точнее 0,2 %.

В настоящее время ведутся работы по созданию и использованию в медицине сплавов с памятью формы на основе титана без никеля, проявляющих свойство сверхупругости. Одним из направлений по улучшению биосовместимости медицинских имплантов является создание материалов на основе твердых растворов систем Ti-Nb-Ta. Очень важно, что они состоят только из биосовместимых, разрешенных к медицинскому применению компонентов и в то же время

могут проявлять эффект псевдоупругости за счет реализации обратимого мартенситного превращения с ресурсом полностью обратимой деформации около 3%.

Таким образом, для обоснования возможности замены уже применяемых материалов, нужно:

- 1) Рассмотреть возможность получения однородных слитков сплава Ti-Nb-Ta различных составов большой массы (от 5 кг);
- 2) Исследовать структуру, фазовый состав и механические свойства полученных материалов;
- 3) Исследовать химический состав поверхностного слоя сплавов, оказывающего непосредственное влияние на биосовместимость материала;
- 4) Исследовать коррозионно-электрохимическое поведение сплавов в условиях, имитирующих условия эксплуатации имплантов, в том числе под действием циклических нагрузок;
- 5) Провести медико-биологические испытания сплавов *in vitro* и *in vivo*.

Литература

1. Жукова Ю. С., Филонов М. Р., Прокошкин С. Д. Новые биосовместимые сверхупругие титановые сплавы для изготовления медицинских имплантов // Нанотехнологии и охрана здоровья, Том IV, № 2 (11) – 2012, с. 10-15.
2. Ю.С. Жукова Достоинства и перспективы наноструктурирования сплавов Ti-Nb-Ta медицинского назначения // Сборник научных трудов Всероссийской научной школы для молодежи «Образование в сфере нанотехнологий: современные подходы и перспективы» (4-9.10.2010, Москва, НИТУ "МИСиС"), с. 177-178.

УДК 53.084.823

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАКАЛКЕ СТАЛИ 35 ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ

Никита Игоревич Копылов

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Н. Симонов

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Процесс деформирующего резания заключается в подрезании материала поверхностного слоя детали и последующей деформации подрезанного слоя рабочими поверхностями режущего инструмента. При деформирующем резании подрезанный слой полностью не отделяется от заготовки и в виде ребра остается на ней. Наличие жесткой связи подрезанного слоя с основой заготовки позволяет целенаправленно производить его пластическую деформацию рабочими поверхностями режущего инструмента. По сути, образующиеся ребра - это неотделившаяся от заготовки стружка. Не поддающаяся травлению структура, образовавшаяся на ребрах, получила название «белый слой». Метод деформирующего резания реализуется инструментом типа проходного резца на стандартном металлорежущем оборудовании. Поскольку стружка не образуется, метод является безотходным. В результате на поверхности заготовки получается регулярная структура с вертикальными или наклонными слоями.

Для исследования была использована заготовка из стали 35. После обработки на токарном станке мощностью 2 кВт мы получили оребренный вал с закаленной поверхностью. Нам предстоит узнать на какие процессы расходуется подводимая энергия реза к заготовке.

Мы знаем, что существует два источника теплоты: трение и деформация. Из расчетов мы видим, что на нагрев металла (для стали 35) затрачивается мощность около 1,7 кВт. Следовательно необходимо найти на что расходуется 0,3 кВт.

Предполагаемые потребители подведенной энергии при деформации резании являются: фазовые переходы, энергия образования дислокаций и дробление зерен (увеличение границ раздела между зернами). Здесь мы проводили расчеты на образцах из армо-железа, потому что они имеют однофазную структуру и четко видимую границу между зернами.

Литература

1. Дегтярева А. Г., Попцов В.В., Симонов В.Н., Васильев С.Г., Варламова С.Б. Формирование закаленных структур в стали 35 методом деформирующего резания.
2. Варламова С.Б., Симонов В.Н. Исследование влияния высокоскоростного деформирующего резания на структуру и твердость Стали 35.
3. Варламова С.Б., Симонов В.Н. Исследование влияния высокоскоростного деформирующего резания на структуру и механические свойства сталей 35 и 40Х при температурах низкого отпуска.

УДК 669.245.018.44

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ДИСКОВ ВЕРТОЛЕТНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Андрей Владимирович Короткий

студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.В.Овсепян⁽¹⁾, А.С.Помельникова⁽²⁾

⁽¹⁾кандидат технических наук, заведующий лабораторией №3 ФГУП ВИАМ

⁽²⁾доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Диски турбин и компрессора являются одними из самых ответственных и высоконагруженных деталей газотурбинных двигателей (ГТД), работающие в условиях высоких температур и динамических нагрузок. Именно поэтому особенно высокие требования по комплексу свойств, предъявляются к сплавам, предназначенным для их изготовления[1].

Современные промышленные жаропрочные сплавы имеют сложный химический и фазовый состав, трудно поддаются деформации и имеют высокую себестоимость производства. Поэтому разработка и совершенствование технологий, обеспечивающих высокий выход годного и снижение трудоемкости, повышающие качество продукции, является сложной задачей металлургических предприятий.

В данной работе проведен сравнительный анализ двух способов изготовления дисков второй ступени ГТД из жаропрочного деформируемого сплава на никелевой основе ВЖ175 для модернизированного вертолетного двигателя. Первая технология включает вакуумную индукционную (ВИ) выплавку с переплавом методом высокоградиентной направленной кристаллизации (ВГНК) с последующей изотермической деформацией слитка на

гидравлическом прессе. Вторая технология включает ВИ выплавку с вакуумным дуговым переплавом (ВД) после чего из слитка получают прессованный пруток (пресс-пруток), который подвергают изотермической деформации.

Технология, при которой применяется ВГНК метод, показала недостаточную степень проработки структуры, что было установлено при исследовании макроструктуры заготовки. В то же время штамповка, изготовленная из пресс-прутка, имеет равномерную структуру по всей поверхности заготовки и полностью рекристаллизованное зерно.

Результаты испытаний показали, что технология изготовления штамповок дисков из слитков ВГНК жаропрочного деформируемого сплава ВЖ175 не обеспечивает требуемые характеристики кратковременной прочности, пластичности и жаропрочности. Причем, в ступичной части из-за непроработанной структуры прочность ниже норм технического условия более чем на 20%, пластичность почти в 2 раза. Штамповки дисков из сплава ВЖ175, изготовленные из прессованного прутка, обеспечивают в зоне полотна требуемую прочность, пластичность, жаропрочность и малоцикловую усталость (МЦУ).

В работе изучались такие важнейшие параметры, как коэффициент использования металла (КИМ), другие механические свойства, исследовалась микроструктура заготовок после термической обработки.

Установлено, что технология ВИ выплавки с ВД переплавом и получением прессованного прутка, с последующей его изотермической деформацией, является оптимальной для производства крупногабаритных дисков, диаметром 350мм.

Литература

1. Ломберг Б.С., Бакрадзе М.М., Чабина Е.Б., Филонова Е.В. Взаимосвязь структуры и свойств высокожаропрочных никелевых сплавов для дисков газотурбинных двигателей // *Авиационные материалы и технологии* : Науч.-технич. сб. – М.: ВИАМ, 2011. – №2. – С. 25-30.
2. Деформация и свойства материалов для авиационной и космической техники: тр. Междунар. конф. / Пер. с англ. Бернштейна Л.М., Матевосяна А.П., Сандлера В.С. – М.: Металлургия, 1982. – 376 с.
3. Б.С. Ломберг, С.В. Овсепян, В.Б. Латышев «Современные деформируемые жаропрочные сплавы» / Труды международной научно-технической конференции «Научные идеи С.Т. Кишкина и современное материаловедение», 25-26 апреля 2006. М.: ВИАМ, 2006, 378 с.
4. «Буклет» ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ / Под общ. ред. акад. РАН Е.Н. Каблова. Москва. 2012 – 72 с.
5. Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М. Особенности легирования и термической обработки жаропрочных никелевых сплавов для дисков газотурбинных двигателей нового поколения // *Авиационные материалы и технологии* : Науч.-технич. сб. – М.: ВИАМ, 2010. – №2. – С. 3-7
6. Бакрадзе М.М. Особенности легирования и термической обработки высокожаропрочных никелевых сплавов нового поколения для дисков перспективных газотурбинных двигателей.: дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 : защищена 19.04.11 : утв. 08.07.11 / Бакрадзе Михаил Михайлович. — М., 2011. — 118 с.

УДК 669.715.24

**ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА
ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА ВКНА-1В**Юлия Вячеславовна Костенко⁽¹⁾, Ольга Анатольевна Базылева⁽²⁾, Эльвира Гайсаевна Аргинбаева⁽³⁾

*Студент 4 курса, кафедра «Материаловедение» МГТУ им. Н. Э. Баумана⁽¹⁾
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, сотрудник, заместитель
начальника лаборатории по науке ФГУП «ВИАМ»⁽²⁾
Кандидат технических наук, и.о. начальника сектора, ФГУП «ВИАМ»⁽³⁾*

Научный руководитель: М. В. Унчикова

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана

В настоящее время интерметаллидные сплавы типа ВКНА являются материалами, которые в наибольшей мере удовлетворяют требованиям, предъявленным к деталям газотурбинных двигателей нового поколения. По сравнению с серийными жаропрочными никелевыми сплавами, применение которых ограничено рабочими температурами 1050-1150 °С, сплавы на основе интерметаллида Ni_3Al имеют уникальную жаропрочность при температурах 1000–1300°С, что связано с повышенной термической стабильностью фазово-структурного состояния сплавов, имеющего эвтектическое происхождение. Благодаря высокому содержанию алюминия, интерметаллидные материалы имеют пониженную плотность (7,9-8,1 г/м³) и обладают повышенной жаростойкостью [1, 2].

В отличие от традиционных жаропрочных никелевых сплавов, термическая обработка которых состоит из гомогенизации и последующего старения для создания оптимальной дисперсноупрочненной структуры, интерметаллидные сплавы не требуют термической обработки, при которой происходит растворение, а затем выделение упрочняющей фазы.

Вместе с тем технологический процесс изготовления деталей из сплавов на основе интерметаллида Ni_3Al включает технологические нагревы, а также отжиг для устранения напряжений, возникающих после механической обработки [3].

Цель работы заключалась в исследовании влияния отжига на структуру и свойства монокристаллического сплава ВКНА-1В.

В качестве материала для исследований использовали цилиндрические заготовки образцов из интерметаллидного сплава ВКНА-1В, полученные методом литья с жидкометаллическим охладителем с использованием затравок, с монокристаллической структурой кристаллографической ориентации КГО $\langle 111 \rangle$ [4].

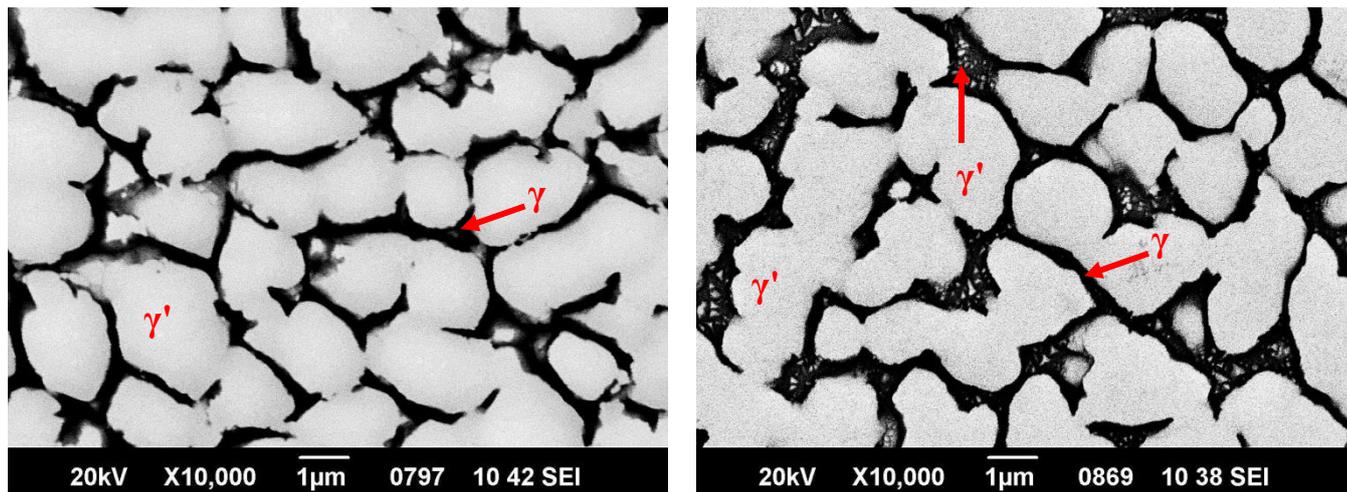
Микроструктурные исследования проводили на растровом электронном микроскопе JSM-840, периоды кристаллических решеток (a_γ и $a_{\gamma'}$) и количество γ' и γ -фаз определяли при комнатной температуре дифрактометрическим методом на установке ДРОН-3М с использованием компьютерной программы «Outset».

Статические испытания на растяжение с определением времени до разрушения проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 10145 на компьютеризированных стендах ZST2/3- ВИЭТ при 1000 °С и $\sigma = 180$ МПа.

Для термической обработки, включающей нагрев до 1000, 1100, 1150, 1200 °С, выдержку в течение 1 ч и охлаждение на воздухе, использовали камерную печь VEBKS400/100 с максимальной рабочей температурой 1350 °С.

Исследования образцов интерметаллидного сплава ВКНА-1В после термической обработки показали, что объемное количество γ' - фазы, по сравнению со значениями для сплава

в исходном литом состоянии увеличивается с 88 до 90-93 % вследствие распада γ - твердого раствора и выделения частиц вторичной γ' -фазы (рис.1).



а)

б)

Рис. 1. Микроструктура γ/γ' -фаз в междендритных областях сплава ВКНА-1В после направленной кристаллизации (а) и после термической обработки при температуре 1200 °С в течение 1 ч: (б), х 10000

Рентгеноструктурным анализом установлено, что с ростом температуры термической обработки период кристаллической решетки γ' -фазы ($a_{\gamma'}$) существенно не меняется, в то время, как параметр решетки γ -фазы (a_{γ}) увеличивается, что приводит к двукратному увеличению мисфита D ($D=(a_{\gamma}-a_{\gamma'})/a_{\gamma}$), характеризующему уровень межфазных напряжений, и вызывает увеличение длительной прочности (рис.2). Снижение времени до разрушения после отжига сплава при 1200 °С может быть связано с обеднением поверхности легирующими элементами и с уменьшением влияния твердорастворного упрочнения.

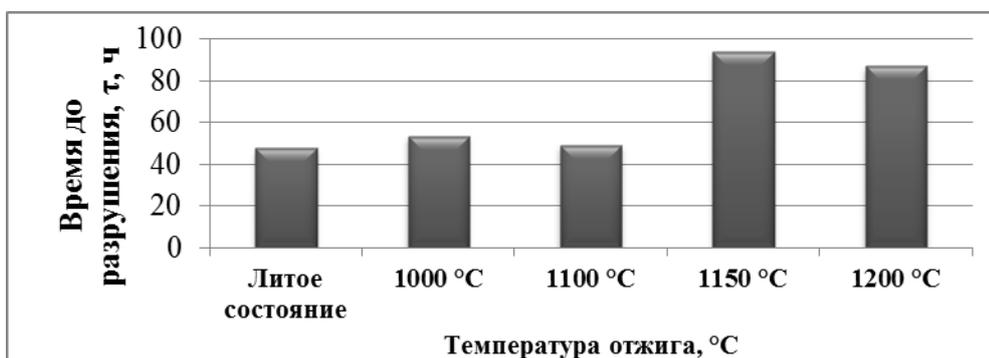


Рис. 2. Влияние температуры отжига интерметаллидного сплава ВКНА-1В на время до разрушения при испытаниях на длительную прочность при температуре 1000 °С при постоянном напряжении 180 МПа

Литература

1. Бунтушкин В.П., Каблов Е.Н., Базылева О.А., Морозова Г.И. Сплавы на основе алюминидов никеля // МиТОМ.1999.№1.С.32-34
2. Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением. Колл. авторов /Под научной редакцией Е. Н. Каблова и Ю.Р.Колобова. - М.: Издательский дом МИСиС,2008.328 с.

3. *Базылева О.А., Бондаренко Ю.А., Морозова Г.И., Тимофеева О.Б.* Структура, химический и фазовый составы интерметаллидного сплава ВКНА-1В после высокотемпературных термических обработок и технологических нагревов //МитОМ. 2014. №5. С. 3–6.
4. *Каблов Е.Н., Сидоров В.В., Каблов Д.Е. и др.* Современные технологии получения прутковых заготовок из литейных жаропрочных сплавов нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 97–105.

УДК 621.785.533

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Евгений Сергеевич Кришталь

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е. Смирнов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

С развитием технологий возрастают требования к деталям и становятся необходимыми высокие показатели теплостойкости, износостойкости, поверхностной прочности и др. Целью комплексной химико-термической обработки (КХТО) является получение деталей, способных в течение длительного времени сохранять высокую твердость в высокотемпературной среде. Данная технология применима для теплостойких сталей, таких как ВКС-10, AerMet 100.

Данная КХТО состоит из цементации (Ц), термообработки (ТО) и азотирования (А).

Цементация проводится при температуре 900-1050 °С, в вакууме, в смеси ацетилена (80 об.%) и водорода (20 об.%), в течение 3-6 ч, это дает эффективный насыщенный углеродом слой $h_{3ф}=0,9-1,3$ мм, на поверхности получаем аустенит + мартенсит + карбиды.

После цементации проводился высокий отпуск при температуре 650 °С, 5 часов, который способствует снижению остаточного аустенита при последующей закалке. Следующий этап шлифование поверхности проводится для выравнивания геометрии детали, после Ц, поскольку процесс высокотемпературный и может возникать коробление.

Далее проводится ТО, она состоит из закалки серии отпусков и обработки холодом. Закалка, дает первичную твердость поверхности, нагрев до 1010..1030 °С, выдержка 1 ч и охлаждение в масле на поверхности получаем Аустенит~5% + мартенсит + карбиды. Серия отпусков проводится при 530 °С в течение 1..2 часов, на поверхности происходит дисперсионное твердение аустенит переходит в мартенсит отпуска. Затем для более полного превращения остаточного аустенита проводится обработка холодом при (- 70) °С.

Азотирование проводили при температуре 530..540 °С, в течение 5, 10, и 15 часов, при давлении $p = 24$ мм.рт.ст, в среде аммиака, расход 4 л/ч. На поверхности ожидается твердость до 1050 HV_{0,1}, и толщину слоя $h_{3ф}=0,3...0,5$ мм.

Испытания на износостойкость показали что азотированный слой имеет коэф. трения порядка 0,4 в отличие от цементованного 0,7; это дает лучшее сопротивление схватываемости и износостойкость.

Ожидается получить твердый прочный и теплостойкий слой, имеющий преимущества и цементованного и азотированного слоев.

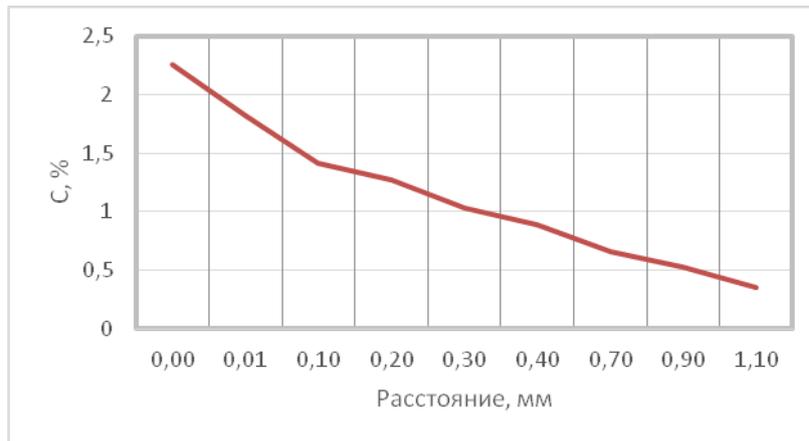


Рис. 1. Распределение углерода по глубине слоя
Закаленный цементованный слой служит подложкой для последующего азотирования.



Рис. 2. Распределение твердости азотированного слоя по глубине

Литература

1. Н.М. Рыжов, А.Е. Смирнов, А.Н. Володин, Р.С. Фахуртдинов, Л.М. Мулякаев, В.И. Громов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГУП «ММПП Салют» «Особенности вакуумной цементации теплостойкой стали в ацетилене»
2. Вакуумная цементация стали 18ХГТ /Ю.П. Усатый, Э.Н. Мармер, С.Г. Мурованная и др. //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1977. - № 11.

УДК 669.018.9:621.791.18:621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ-ТИТАН

Сергей Эдуардович Куркин

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Т.В. Соловьева

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Анализ физико-химических процессов, протекающих на границе титана и алюминия, позволил разработать концепцию технологии получения слоистого материала, заключающаяся

вначале в создании слоистого материала из исходных металлов Ti и Al путем сварки в твердой фазе в вакууме без образования интерметаллидов, которые снижают технологическую деформируемость материала, а затем при термообработке создать количество упрочняющих интерметаллидных фаз.

Разработаны температурно-деформационные режимы прокатки в безокислительных условиях пакетов, состоящих из чередующихся фольг толщиной 0,1 мм по 30 шт. каждого металла. Предложены технологические приемы, которые способствовали получению слоистого материала системы Ti - Al с хорошей прочностью соединения слоев. Опробованы различные соотношения числа исходных слоев титана и алюминия: 1:2; 1:1 и 2:1. Благодаря применению нескольких циклов, «сборка пакета - совместная деформация в вакууме - раскатка на воздухе до фольги 0,35 мм - резка на мерные длины — снова сборка пакета», удалось получить слоистый материал с наноразмерными слоями. Первичную деформацию в вакууме проводили при температуре 450-500 °С с обжатиями 25-30 %, а последующую деформацию осуществляли на воздухе до толщины 0,35 мм при той же температуре со степенью деформации 8-10 % за проход. Нарботана опытная партия слоистого материала для дальнейших исследований.

Проведены исследования послойной деформации слоев титана и алюминия в пакете. Установлено, что, как и следовало ожидать, слои из алюминия продеформировались на 30-40 % больше чем слои из титана, что привело к шейкообразованию титанового слоя и, следовательно, к нарушению его сплошности. Приповерхностные слои деформировались на 10-15% больше обоих материалов.

Проведена термообработка слоистого материала. В результате экзотермической реакции на границе раздела титана и алюминия образовались химические соединения. Исследованы температурные и временные условия образования интерметаллидов. Рентгеноструктурный анализ показал, что при всех условиях термообработки в заготовке образовались интерметаллиды Ti_3Al , $TiAl$ и $TiAl_2$, количество которых зависело от температуры и времени выдержки. Установлено, что при температуре нагрева 510, 590 и 1000 °С в объеме заготовки образовались суммарно от 16 до 97 % интерметаллидных фаз. Объемная доля интерметаллидов в слоистом материале и обуславливает их механические и функциональные характеристики.

Показано, что механические свойства слоистого материала непосредственно после холодной прокатки при толщине 0,35 мм изменяются в зависимости от соотношения количества пластин титана и алюминия. Так при соотношении слоев 1:1 предел прочности составил 198 МПа, предел текучести - 151 МПа, пластичность - 2,9 %, а при соотношении слоев Ti-Al 1:2 эти характеристики стали равны $\sigma_b = 297$ МПа; $\sigma_{0,2} = 248$ МПа; $\delta = 0,36$ %.

Предложенный технологический подход открывает широкие перспективы для получения листового слоистого материала системы Ti-Al, упрочненного интерметаллидными фазами.

Литература

1. *Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгунов В.Г.* Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов. – М.: ЗАО «Металлургиздат», 2004. – 254 с.
2. *Аркулис Г.Э.* Совместная пластическая деформация разных металлов. – М.: Metallurgy, 1964. – 305 с.
3. *Король В.К., Гильденгорн М.С.* Основы технологии производства многослойных металлов. М.: Metallurgy, 1970. – 280 с.
4. *Кобелев А.Г., Лысак В.И. и др.* Материаловедение и технология композиционных материалов: Учебник для вузов. М.: Интермет инжиниринг, 2006. – 368 с.
5. *Nishiyama Y., Miyashita T., Isobe S. and Noda T.* // Proc. Joint ASM/TMS. Symp. On «High temperature aluminides and intermetallics (ed.S. H. Whang et al), Warrendale, PA, TMS, 1990. P. 557.

УДК 669.018.44:669.295

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ СПЛАВА 1151 СИСТЕМЫ AL-CU-MG

Артем Александрович Лаврухин

Студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Пучков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Сплав 1151 системы Al-Cu-Mg перспективен для изготовления высокопрочных сварных конструкций. Сплавы этой системы легирования отличаются пониженной коррозионной стойкостью. Для внедрения этого сплава и выбора системы коррозионной защиты необходимо проведение исследования коррозионных свойств сварных соединений. Одним из перспективных способов сварки этого сплава является импульсно дуговая сварка.

Целью работы являлось исследование коррозионных свойств сварных соединений, полученных импульсно-дуговой сваркой из алюминиевого сплава 1151.

Сварное соединение было получено импульсно-дуговой сваркой в среде инертного газа (аргона) плакированных листов толщиной 3 мм. Коррозионные свойства сварного соединения исследовали в камере соляного тумана и методами потенциометрии, потенциодинамической поляризации и электрохимической импедансной спектроскопии. Исследования проводили в 0,04% водном растворе NaCl с применением электрохимической системы, включающей потенциостат IPC-Pro-MF и анализатор частотного отклика FRA-2. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, вспомогательного – платиновый. Для коррозионного исследования был вырезан участок сварного соединения с размерами: длиной - 25 мм, шириной – 10 мм и высотой – 3 мм. Потенциалы и поляризационные диаграммы получали с участка площадью 46 мм² в поперечных сечениях, расположенных на разных расстояниях от центра сварного шва. Потенциодинамическую поляризацию выполняли со скоростью развертки 0,1 мВ/с от минус 0,7 до плюс 0,05 В (х.с.э) и далее понижали потенциал металла до минус 1,45 В. Запись импедансного спектра осуществлялась при значении потенциала свободной коррозии исследуемого электрода. В качестве возмущающего сигнала при этом использовался сигнал синусоидальной формы с амплитудой 10 мВ с частотой от 0,03 до 50000 Гц.

Самый низкий электродный потенциал и самую высокую скорость коррозии имеет зона сплавления. Этот участок является анодом (растворяется) по отношению к остальным участкам сварного соединения. О наличии гальванической пары, возникающей между отдельными участками сварного соединения, свидетельствует образование пузырьков водорода. В этом месте сплав может наводороживаться при хранении в атмосфере влажного воздуха. Показано, что при коррозионных испытаниях, участок сплава на расстоянии 2 мм от шва лучше пассивируется и менее склонен к питтингу (зависимость потенциала от времени более гладкая, чем у участка на пятимиллиметровом расстоянии). Однако величина коррозионного тока (скорости общей коррозии) на расстоянии 5 мм несколько ниже [1]. К такому же выводу можно прийти, анализируя результаты электрохимической импедансной спектроскопии [2], показавшей более высокое значение импеданса на расстоянии 5 мм. Наличие двух максимумов на диаграмме Боде свидетельствует о двухслойном строении защитной оксидной плёнки, состоящей предположительно из слоев оксида и гидроксида алюминия. Особенности изменения коррозионной стойкости в зоне термического влияния можно объяснить тем, что на

расстоянии 2 мм от шва металл околошовной зоны при сварке нагревается до температур близких к оптимальным при закалке, в результате чего при охлаждении образуется пересыщенный твердый раствор, претерпевающий впоследствии естественное старение. Металл в таком состоянии имеет наиболее высокое сопротивление общей и питтинговой коррозии. На расстоянии 5 мм температура при сварки составляет около 400–450 °С, при этом образуются интерметаллиды переходных металлов, являющиеся катодными включениями, увеличивающими склонность к питтинговой коррозии.

Околошовная зона имеет различные электрохимические свойства, что приводит к появлению гальванических пар, вызывающих локальное разрушение её участков и возможное наводороживание. Наличие плакировки, сохраняющейся в зоне термического влияния после сварки, снижает скорость коррозии околошовной зоны, но не решает задачи защиты от коррозии сварного шва и зоны сплавления.

Литература

1. Пучков Ю.А. и др. Система компьютеризированных методов исследования электрохимической коррозии. Металловедение и термическая обработка металлов. - М: Машиностроение, 1996. №5, с. 37-39.
2. Буянова Е.С., Емельянова Ю.В. Импедансная спектроскопия электролитических материалов: учеб.пос. / Под ред. Е.С. Буянова. – Екатеринбург: УГУ, 2008. – 70 с.

УДК 669.018.9

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО ЖИДКОФАЗНЫМ МЕТОДОМ

Юлия Александровна Лопатина

Студентка 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение»

Разработка и применение композиционных материалов (КМ), обладающих качественно новыми свойствами, является одним из магистральных направлений развития современного материаловедения и машиностроения. В большинстве случаев только КМ могут удовлетворить требованиям новой техники, для которой характерно ужесточение условий эксплуатации.

Металлические КМ имеют ряд важных преимуществ: высокие жесткость, прочность, трещиностойкость и др. Дисперсно армированные КМ выгодно отличаются от волокнистых и слоистых изотропией своих свойств, универсальностью и сравнительной простотой технологии изготовления, в связи с чем дисперсно армированные МКМ нашли широкое применение в машиностроении, а среди них на первом месте по объему применения находятся алюмоматричные композиционные материалы (АМКМ).

Для изготовления АМКМ с армированием частицами карбидов SiC лучшими признаны жидкофазные методы литья, которые приводят к образованию связи компонентов, необходимой для обеспечения высоких механических свойств, и позволяют использовать стандартное литейное оборудование, что привлекательно с экономической точки зрения.

Объемы промышленного использования АМКМ пока не адекватны их технико-эксплуатационным возможностям. В значительной степени это связано с несовершенством

научно-технических основ создания таких композитов, которые бы позволяли прогнозировать и гарантированно выбирать их состав, структуру и технологию получения, чтобы реализовать заданный уровень физико-механических и эксплуатационных свойств изделий из АМКМ с дискретным армированием.

В связи с этим, при получении АМКМ с дисперсными частицами SiC можно выделить следующие направления развития:

1. Создание условий для смачивания частиц SiC.
2. Достижение равномерного распределения частиц по всему объему матричного расплава.
3. Борьба с тенденцией к агломерации и осаждению упрочняющих элементов.
4. Предотвращение образования газовой и газоусадочной пористости в отливках из композиционных сплавов.
5. Развитие научных и технологических основ термообработки АМКМ для стабилизации структуры и свойств литых изделий.
6. Совершенствование технологий механической обработки и пластического деформирования АМКМ.
7. Снижение стоимости производства за счет совершенствования технологического процесса получения композиционных сплавов и литых заготовок из них.

В качестве механизмов воздействия можно выделить тепловые (термовременная и термоскоростная обработки расплавов), барометрические (вакуумирование расплавов или кристаллизация под давлением), гравитационные, механические, электромагнитные (например, магнитогидродинамическое перемешивание композиционного расплава) и высокоэнергетические (обработка лазером и плазмой).

Литература

1. *Чернышова Т. А.* Литые дисперсно-упрочненные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение. Т. А. Чернышова, Ю. А. Курганова, Л. И. Кобелева, Л. К. Болотова . – Ульяновск: УлГТУ, 2012 г. – 295 с.
2. *Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего: Учебное пособие / Сост. А. Р. Луц, И. А. Галочкина.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. С. 82
3. *Аксенов А. А.* Металлические композиционные материалы, получаемые жидкофазными методами / Известия вузов. Цветная металлургия. 1996, № 2. С. 34-46.
4. *А. А. Панфилов, Е. С. Прусов, В. А. Кечин.* Проблемы и перспективы развития производства и применения алюмоматричных композиционных материалов / Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013, № 2 (99). С. 210-217

УДК 541.138.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МДО НА СПЛАВАХ СИСТЕМ Al-Ca-Sc.

Марина Александровна Макушина

студент 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Е.А. Наумова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Большое значение для снижения удельной материалоемкости изделий имеет замена черных металлов более легкими цветными, в частности алюминием и его сплавами. Хотя алюминий и дороже стали, однако экономия по массе при его использовании достигает 60%. Поэтому алюминиевые конструкции могут быть дешевле стальных. Кроме снижения материалоемкости большое значение имеет уменьшение трудоемкости изготовления деталей из алюминиевых сплавов, так как обрабатывать и монтировать их намного легче стальных.

Однако расширению сферы практического использования алюминиевых сплавов для изготовления корпусных деталей и разнообразных пар трения препятствует несоответствие высоким технологическим требованиям таких его эксплуатационных характеристик, как недостаточная твердость и низкая износостойкость. Устранение этих недостатков связано с улучшением состава и качества поверхностных слоев изделий, а также с возможностью применения современных методов поверхностной обработки алюминия.

Одним из наиболее перспективных методов нанесения покрытий на изделия и конструкции из алюминиевых и магниевых сплавов является метод микродугового оксидирования (МДО).

Микродуговое оксидирование - сложный процесс получения покрытий на поверхности материала - рабочего электрода, находящегося в электролите, в режиме микродуговых разрядов, перемещающихся по его поверхности [1]. Процесс МДО состоит из нескольких стадий, протекающих последовательно: 1) анодирование и/или электролиз; 2) искрение; 3) собственно МДО; 4) дуговая стадия [2, 3].

Силумины (сплавы на основе алюминивно-кремниевой эвтектики) самые распространенные среди всех литейных сплавов на основе цветных металлов. Благодаря отличным литейным свойствам они широко используются для получения отливок самой сложной формы [4, 5]. Но резервы повышения их прочностных свойств практически исчерпаны, что вытекает из принципов их легирования [4]. В связи с этим, поиск альтернативных базовых систем, которые могут стать основой литейных сплавов нового поколения весьма актуален. Система Al-Ca рассматривается авторами этой работы как перспективная. Кальций, как и кремний, образует с алюминием диаграмму эвтектического типа, но структура эвтектики значительно дисперснее, чем кремниевая в литом состоянии, что должно обеспечить более высокие прочностные свойства этих сплавов.

Проведенные авторами этой работы испытания на износостойкость силумина и сплава с кальцием без покрытия показали некоторое преимущество последнего. Коэффициент трения на установившейся стадии работы у АК7 около 0,47, а у сплава на базе системы Al-Ca – около 0,45 (испытания проводили на трибометре NANOVEA с использованием вращающегося по круговой траектории стального шарика (ШХ15) диаметром 6 мм при нагрузке 10Н).

В данной работе были исследованы образцы нового литейного эвтектического сплава Al-7,5%Ca-0,3%Sc (№ 1-3), эвтектического силумина АК12 (№ 4) и доэвтектического силумина

AK7 (№ 5) с покрытием, полученным методом МДО с использованием разных электролитов: NaOH-ТЖС- $K_4[Fe(ON)_6]$ и NaOH-ТЖС. В результате проведенного исследования установлено, что сплав Al-7,5%Ca-0,3%Sc покрывается оксидом алюминия примерно в 3 раза быстрее, чем силумины.

Микроструктуру изучали с помощью светового микроскопа Olympus GX51. С помощью специальной компьютерной программы SIAMS 700 и встроенной фотокамеры были сделаны фотографии структуры. Для измерения микротвердости используется прибор Emkotech DuraScan 70. Толщину поверхностных слоев измеряли перемещением предметного столика с помощью микровинтов с цифровой шкалой.

Фазовый состав поверхностных слоев определяли методом рентгеноструктурного анализа методом симметричной съемки и съемки скользящим пучком.

Металлографическое исследование показало, что покрытие на всех образцах состоит из двух основных слоев. Внешний слой, более темный, имеет более высокую твердость. Вероятно, он в большей степени состоит из $\alpha-Al_2O_3$, а внутренний слой, более мягкий и пластичный, состоит из смеси разных модификаций оксида алюминия. Значения микротвердости исследованных сплавов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Твердость материала образца и покрытия (метод измерения HV 0,1)

Наименование слоя	Образец №1 (NaOH-ТЖС)	Образец №2 (NaOH-ТЖС- $K_4[Fe(ON)_6]$)	Образец №3 (NaOH-ТЖС- $K_4[Fe(ON)_6]$)	Образец №4 (NaOH-ТЖС)	Образец №5 (NaOH-ТЖС)
Материал образца	70,9	96,9	69,4	71,5	85,6
Внутренний слой ($\gamma-Al_2O_3 + \alpha-Al_2O_3 + \delta-Al_2O_3$)	718	240	351	467	715
Внешний слой ($\alpha-Al_2O_3$)	106 2	712	731	145 3	1031

Заключение

Установлено, что доля слоя $\alpha-Al_2O_3$ по отношению к общей толщине покрытия наибольшая в образцах сплава Al-7,5%Ca-0,3%Sc, обработанных в электролите NaOH-ТЖС- $K_4[Fe(ON)_6]$ (№ 3, 4), а значения микротвердости внешнего слоя наименьшие. Возможно, необходимо оптимизировать толщину внешнего слоя, состоящего, в основном из $\alpha-Al_2O_3$.

Литература.

1. Хла Мо. Оптимизация процесса микродугового оксидирования алюминиевых и магниевых сплавов/ Автореферат диссертации, 2007 / информация на сайте <http://tekhnosfera.com/>
2. L.L. Gruss, W. McNeil. Anodic spark reaction products in aluminate, tungstate and silicate solutions // Electrochem. Technol. 1963. Vol. 1. № 9-10. P. 283-287.
3. А.В. Николаев, Г.А. Марков, Б.Н. Пищевский. Новое явление в электролизе // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1977. Вып. 5. С. 32-33.
4. Энтони У.У., Элиот Ф.Р., Болл М.Д. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справоч. изд. / под ред. Дж.Е. Хэтча. Пер. с англ. М., Металлургия, 1989, 324 с.
5. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов - М.: МИСиС, 2005, 376 с.

УДК 669.018.9

ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗЫ В ТЕЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ

Александра Владимировна Мартынова ⁽¹⁾, Ицзинь Чэнь ⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, магистр 1 года⁽²⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

В современном мире развитие науки и техники невозможно без создания новых материалов, которые наилучшим образом будут отвечать заданному уровню механических и эксплуатационных свойств. Одним из перспективных направлений в материаловедении является создание композиционных материалов.

Композиционные материалы (КМ) – особый класс гетерофазных материалов, состоящих из наполнителя и связующего с четко выраженной границей раздела. КМ используют преимущества каждого из компонентов и проявляют новые свойства, обусловленные граничными процессами. Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, является матрицей; компонент прерывный, разделенный в объеме композиции, считается усиливающим или армирующим и называется наполнителем.

Наиболее перспективными материалами для матриц металлических композиционных материалов являются металлы, обладающие небольшой плотностью. Среди многообразия легких металлов особое место занимает алюминий, обладающий высокой коррозионной стойкостью и являющийся высокотехнологичным конструкционным материалом.

Большое внимание уделяется исследованию композиции алюминиевая матрица – частицы карбида кремния (SiC). Связь между компонентами зависит от их химического состава, режимов изготовления и термической или термомеханической обработки КМ.

Литейный способ получения композиционных материалов с механическим замешиванием наполнителя в матричный расплав является наиболее технологичным и дешевым из множества способов. Качество получаемых этим способом КМ зависит от состава матричного расплава, условий замешивания и последующей обработки.

Одной из основных технологических проблем формирования дисперсно–армированных композиционных материалов является обеспечение равномерности распределения наполнителя в матрице.

Технологически целесообразно использовать покрытия из композиционных материалов. Существуют несколько способов получения композиционных покрытий, одним из которых является дуговая наплавка. Распределение армирующей фазы в теле матрицы изменяется в

наплавленном слое по сравнению с исходным композиционным материалом, что непосредственно влияет на механические и эксплуатационные свойства детали.

Оценка равномерности распределения наполнителя проводилась методом Глаголева А.А. (точечный метод) и с помощью использования компьютерных программ.

Метод Глаголева А.А. заключается в разбиении фотографии шлифа мелкой сеткой, после чего подсчитывается отношение количества узлов сетки, попавших на армирующую фазу, к общему количеству узлов.

Использование программного обеспечения значительно упрощает и ускоряет подсчет объемных долей составляющих. Принцип работы специализированных программ основывается на перепаде яркости между частицами и фоном. Входными данными являются фотографии микрошлифа, предварительно подготовленные и обработанные таким образом, чтобы область анализируемой фазы оказалась покрашена монохромным цветом.

Литература

1. Чернышова Т.А., Курганова Ю.А., Кобелева Л.И., Болотова Л.К. Литые дисперсно-упрочненные алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение. Ульяновск: УлГТУ, 2012. 295 с.
2. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.
3. Прусов Е.С., Панфилов А.А., Кечин В.А. Современные методы получения литых композиционных сплавов // Литейщик России. – №12. – 2011. – С.35-39.
4. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1976. 269с.

УДК 621.77.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В КОМПОЗИЦИИ У8+08Х18Н10

Александр Александрович Минаков

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В последнее время увеличилась потребность в материалах, обладающих высокими служебными характеристиками и комплексом часто несовместимых друг с другом свойств, таких как высокая прочность, ударная вязкость и сопротивление хрупкому разрушению. В качестве таких материалов могут служить многослойные металлические материалы листового сортамента. Применение таких материалов в деталях и элементах инженерных конструкций позволяет повысить их надёжность, снизить металлоёмкость и увеличить их ресурс работы.

Существуют различные способы получения многослойных металлических материалов, такие как горячее прессование, диффузионная сварка и др. Но наиболее эффективным и экономичным методом является метод горячей прокатки, позволяющий получить слоистую структуру в заготовках с толщинами субмикро- и нанометрического диапазона [1]. При этом получение материалов со слоистой структурой – сложная задача, т.к. нарушение слоистости материала, вследствие образования общих зёрен, приводит к невозможности постепенному утонению слоёв материала. Поэтому актуальной является задача исследования структурных и фазовых превращений в таких материалах.

Объектами исследования служили образцы многослойной композиции, состоящие из 100 чередующихся между собой слоёв сталей У8 и 08X18Н10 толщиной 0,5 мм по 50 каждой марки. По экспериментальному технологическому маршруту, который включает мерную резку заготовок из листов, обработку поверхности листов, их последующую сборку в пакет, вакуумирование, пластическое деформирование пакета методом горячей прокатки при температуре 1000 °С, были получены полосы толщиной 10 и 2 мм. Толщина слоя после первого цикла составила 100 и 20 мкм соответственно. Далее из полос были получены мерные заготовки, из которых был изготовлен следующий пакет, подвергнутый второму технологическому циклу. Толщина слоя после второго технологического цикла соответственно составила 5 и 1 мкм.

В ранее проведённых исследованиях методом микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) было изучено распределение легирующих элементов в слоях [2]. Было установлено, что наиболее подвижным из элементов замещения был хром. Так после первого технологического цикла в многослойной заготовке толщиной 10 мм с толщиной слоя 100 мкм концентрация хрома на межслойной границе со стороны стали 08X18Н10 составила 14,8 %, а со стороны стали У8 – 2,32 %. В центральной части слоя стали 08X18Н10 концентрация хрома составила 18,2 %, а в стали У8 – 0,9%. При последующем утонении слоёв до толщины 5 мкм в заготовках толщиной 10 мм после второго технологического цикла концентрация хрома на межслойной границе со стороны стали 08X18Н10 уменьшилась до 10,7 %, а со стороны стали У8 увеличилась до 8,4 %. В центральной части слоя стали 08X18Н10 концентрация хрома уменьшилась до 12,1 %, а в стали У8 увеличилась до 4,8 %. Было также установлено, что наименее подвижным из элементов замещения был никель. После первого технологического цикла в многослойной заготовке толщиной 10 мм с толщиной слоя 100 мкм в центральной части слоя стали 08X18Н10 концентрация никеля составила 7,8 %, а в стали У8 никеля не было обнаружено. При последующем утонении слоёв до 5 мкм в заготовках толщиной 10 мм концентрация никеля в центральной части слоя стали 08X18Н10 уменьшилась до 7,1 %, а в стали У8 увеличилась до 0,5 %. Таким образом, активная диффузия легирующих элементов в многослойных материалах приводит к изменению химического состава в сторону усреднения. На основании этого можно сделать предположение о том, что это может оказывать влияние на температурный интервал фазовых переходов и положение критических точек в данных материалах.

Для анализа этого предположения был использован метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Образцы исследуемой композиции после разной степени структуризации нагревались в инертной среде калориметра до температуры 1000 °С, выдерживались в течение 15 мин, а затем охлаждались со скоростью 10 °С/мин. Было установлено, что при охлаждении образца с толщиной слоя 100 мкм температура начала превращения предположительно $\gamma \rightarrow \alpha$ перехода соответствовала $A_{r1} = 785$ °С, а температура окончания $A_{r2} = 715$ °С. Сравнение графиков ДСК образца и стали У8 показало, что интервал превращения предположительно $\gamma \rightarrow \alpha$ перехода для образца был смещён в сторону области высоких температур и был более продолжительным по времени. При рассмотрении графиков ДСК для образцов с меньшими толщинами было обнаружено смещение интервала превращения предположительно $\gamma \rightarrow \alpha$ перехода в сторону области низких температур.

Таким образом, было подтверждено выдвинутое ранее предположение о влиянии диффузии легирующих элементов на температурный интервал фазовых переходов и положение критических точек при охлаждении.

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ . – 2010. – № 6. - С. 44-49
2. Плохих А. И., Власова Д.В., Ховова О.М., Полянский В.М. Исследование влияния диффузионной подвижности легирующих элементов на стабильность структуры многослойных металлических материалов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. - № 11, страница размещения: <http://technomag.edu.ru/doc/262116.html>

УДК 669.715:018.8

КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТОНКОЛИСТОВОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АСВ-1

Любовь Николаевна Мищук

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Пучков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Тонколистовые сварные соединения из алюминиевых сплавов, получаемые методом лазерной сварки перспективны в космической промышленности для создания бортовых несущих конструкций летательных аппаратов. Основными причинами применения этого метода является экономия материала и снижение объема механической обработки.

Целью работы является выбор и обоснования технологических мероприятий, позволяющий получать качественные лазерные сварные соединения из тонколистовых алюминиевых сплавов.

В качестве объекта исследования были выбраны листы из сплава АСВ-1 толщиной 1 мм. На поверхность свариваемых листов наносили гальваническим методом никелевое покрытие толщиной 6 мкм. Сварные конструкции получали на автоматизированной лазерной установке LRS-300AU, рабочим инструментом которой является сфокусированный луч импульсного твердотельного лазера, работающего в режиме свободной генерации [1]. Для анализа сварных конструкций применяли маталографический метод с использованием микроскопа OLYMPUSGX-51 и твердомера STRUERS DuraScan. Коррозионные исследования, включающие потенциометрию, потенциодинамический анализ, электрохимическую импедансную спектроскопию, выполняли с использованием потенциостата IPC-Pro-MF и анализатора частотного отклика FRA-2. Коррозионные испытания проводили в камере соляного тумана в 3% водном растворе NaCl.

Методами потенциометрии и потенциодинамического анализа показано [2], что шов является анодом по отношению к сплаву. Линейные показатели коррозии шва ниже чем у основного металла. Шов обладает более высокой способностью к самопассивации.

Электрохимическая импедансная спектроскопия [3, 4] подтвердила более высокое сопротивление коррозии шва и выявило двухслойное строение защитной пленки на поверхности шва и основного металла.

Однако металлографическим анализом сварных образцов, прошедших коррозионные испытания, выявлены участки питтинговой коррозии по центру шва, очаги межкристаллитной коррозии на участках шва, примыкающих к основному сплаву, а также частичное отслоение покрытия в зоне термического влияния.

Питтинг связан с увеличением концентрации примесей в центре шва, а также наличием в нем пор и микротрещин, образующихся при импульсной сварке.

Межкристаллитная коррозия возникает из-за наличия в шве не полностью растворяющихся во время сварки участков никелевого покрытия.

Отслаивание покрытия связано с появлением при сварке напряжений в околошовной зоне.

По результатам выполненной работы можно дать следующие рекомендации: покрытие нужно наносить после процесса сварки и заменить импульсную лазерную сварку на непрерывную.

Литература

1. Мищук Л.Н. Структура и свойства сварных тонколистовых соединений из алюминиевых сплавов. // Молодежный научно-технический вестник. Выпуск № 6. 2014. - 11 с.
2. Пучков Ю.А. и др. Система компьютеризированных методов исследования электрохимической коррозии. Металловедение и термическая обработка металлов.- М: Машиностроение, 1996. №5, с. 37-39.
3. Буянова Е.С., Емельянова Ю.В. Импедансная спектроскопия электролитических материалов: учеб. пос. / Под ред. Е.С. Буянова. – Екатеринбург: УГУ, 2008. – 70 с.
4. Irvin J.T.S., Sinclair D.C., West A.R. Electroceramics. Characterization by Impedance Spectroscopy. // Advanced Materials. 1990. V.2. N.3 P.132-138.

УДК 621.789

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Мьят Со Лвин

Магистр 1 года

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. 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.

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
BT1-0	7.624	0.04	0.011	0.158	0.061	3.524	0.219	0.011	0.139	1.64	0,3
BT3-1	7.556	0.037	1.799	0.472	0.071	2.439	0.283	0.112	0.132	0.048	
BT14	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].

Целью данной работы является 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.

Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б.М.Аскинази. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
2. 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.
3. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. // РИТМ 2012. №2(70).С. 14 – 16.
4. Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. – М.: Наука, 1994.

УДК 621.793.74

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Наталья Сергеевна Наумова⁽¹⁾, Денис Александрович Александров⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

ведущий инженер ВГУП ВИАМ⁽²⁾

Научный руководитель: К.О. Базалева

кандидат наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В данной работе объектом исследования являются износостойкие покрытия. Данные покрытия находят свое применения в различных областях машиностроения и используются в различных парах трения и в режущем инструменте. Температурный диапазон работы таких покрытий в зависимости от задачи составляет от 200 до 800 °С. Одной из областей применения таких износостойких покрытий является авиационное двигателестроение. Газотурбинный двигатель (ГТД) имеет большое количество деталей, в том числе и пары трения, одни из которых являются щеточными или пальчиковыми уплотнениями.

Щеточные (или пальчиковые) уплотнения применяются для снижения утечки охлаждающего воздуха в турбине. Ликвидация непроизводительных утечек газа и охлаждающего воздуха представляет собой одну из наиболее важных и наиболее значительных по получаемому эффекту задач при проектировании турбины. Работа уплотнений происходит в контакте с титановыми и никелевыми роторами, разделяющими полости газоздушного тракта турбины и компрессора ГТД, приводя к износу роторов и увеличению зазора между ротором (валом) и уплотнительными элементами, что снижает эффективность работы уплотнительного соединения и приводит к потерям охлаждающего воздуха.

Была предпринята попытка подобрать покрытия оптимального состава для никелевого ЭП742 (Ni-14%Cr-10%Co-5%Mo-2%Nb-2.6%Al-2.6%Ti-0.08%С) и титанового ВТ8 (Ti-6.3%Al-3.3%Mo-0.3%Si-0.3%Fe-0.15%Zr-0.1%С)

На исследуемые были образцы нанесены системы износостойких высокотемпературных покрытий для никелевого ЭП742 и титанового ВТ8 сплавов: TiNC, TiN (по различным технологиям), СДП-2 (Cr-20%, Al-12%, Y-0,5%), ВЖЛ-2 (Ni, Cr, W, Mo, Ti, Al), (ВЖЛ-2)С, CrC+Cr. Нанесение покрытий на образцы, после предварительной подготовки поверхности, проводилось на ионно-плазменной установке МАП-3, в процессе нанесения были заданы параметры тока дуги, напряжения смещения на деталях, время осаждения и давление в камере при нанесении покрытия с реакционным газом.

Испытания покрытий на износ проводились при температуре 20°С и 450°С согласно ASTM G 99-05 на трибометре UMT-3 фирмы CETR (США). Результаты испытаний на износ приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1. Результаты испытаний на износ образцов титанового сплава ВТ8 с износостойкими покрытиями

Основа + покрытие	Тип обработки поверхности	Линейный износ, мкм (при 20° С /450 ° С)	Износостойкость покрытия относительно основы, раз
ВТ8, без покрытия	шлифовка	10/17	-
ВТ8+TiN-Ti-TiN	шлифовка	1/1	10/17
ВТ8+ВЖЛ-2*	шлифовка	8/10	1,25/1,7
ВТ8+TiNC	шлифовка	1/0,8	10/21,25
ВТ8+TiN	шлифовка	0,5/0,8	20/21,25

*-ВЖЛ-2(Ni, Cr, W, Mo, Ti, Al)

Таблица 2. Результаты испытаний на износ образцов никелевого сплава ЭП742 с износостойкими покрытиями

Основа + покрытие	Тип обработки поверхности	Линейный износ, мкм (при 20° С /450 ° С)	Износостойкость покрытия относительно основы, раз
ЭП742, без покрытия	шлифовка	15/15	-
Cr ₃ C ₂ -Cr	шлифовка	2/5	7,5/3
ВЖЛ-2	шлифовка	7/8	2,1/1,8
(ВЖЛ-2)С	шлифовка	1,5/1,5	10/10
СДП-2**	шлифовка	3/12	5/1,25
TiAlN	шлифовка	9/10	1,6/1,5

** - СДП-2 (Cr-20%, Al-12%, Y-0,5%)

Металлографические исследования, проведенные на микроскопе GX 500 фирмы Olympus при увеличениях 500 и 1000 крат, показали, что толщина нанесенных покрытий составляет от 9 до 22 мкм. Толщины износостойких покрытий приведены в таблице 3.

Таблица 3. Толщины износостойких покрытий

Основа+покрытие	мкм
BT8+TiNC	11
BT8+ВЖЛ-2	17
BT8+TiN	9
ЭП742+ ВЖЛ-2	22
ЭП742+ TiAlN	3

Результаты испытаний на износ при 450 °С показывают, что наиболее износостойкими покрытиями на сплаве BT8 являются системы на основе титана: TiN+Ti+TiN, TiN, TiNC, повышающие износостойкость сплава BT8 в 17-21 раз. На образцах из сплава ЭП742 с покрытием (ВЖЛ-2)С достигнуто повышение износостойкости в 10 раз.

Также установлено, что на износостойкость системы «основа-покрытие» в большей степени влияет состав покрытия, и в меньшей его толщина.

Литература

1. Каблов Е. Н., Мубояджян С. А., Будиновский С.А., Помелов Я. А. Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей, 1999 г. Конверсия в машиностроении 2, стр. 42-47.
2. Панфилов Ю.В., Беликов А.И., Гладышев И.В, Каменева А.Л., Демин Д.Ю., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Трофимова Л.А., Оборин А.П., Трофимов Е.М., Ужegov П.А. Наноструктурированные износостойкие многокомпонентные тонкопленочные покрытия, 2005, Упрочняющие технологии и покрытия, №4, с.30-34.
3. T.S. Li, H. Li, F.Pan. Microstructure And Nanoindentation Hardness Of Ti/Tin Multilayered Films // Surface Coating and Technology, 137 (2001), pp. 225-229.
4. Мигранов М. Ш. Триботехнические характеристики инструментов с износостойкими покрытиями. // Уфимский государственный авиационный технический университет// 2011-стр. 93-97.
5. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. 2-е изд. – М.:Наука, 2006.-632 с.
6. Углов В.В., Приходько Ж.Л., Ходасевич В.В., Приходько И.И., Эйзнер А.Б. Влияние состава на механические свойства покрытий, сформированных методом конденсации с ионной бомбардировкой, 2003, Физика и химия обработки материалов, №5, с.48-52

УДК 669.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОТЛИВОК ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-CA

Андрей Александрович Новиков⁽¹⁾, Евгения Александровна Наумова⁽²⁾,
Борис Константинович Никитин⁽³⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, доцент кафедры⁽²⁾

кафедра «Материаловедение»

заведующий лабораторией⁽³⁾

кафедра «Оборудование и технология прокатки»

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Е.А. Наумова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Алюминиевые сплавы удачно сочетают в себе самые разные качества, такие как лёгкость, прочность, технологичность, умеренная цена и другие [1,2]. Благодаря этому их использование неуклонно расширяется.

Сплавы на основе алюминиево-кремниевой эвтектики (силумины) самые распространенные среди всех литейных сплавов на основе цветных металлов. Однако уровень прочностных свойств, достигнутый на силуминах, является предельным и не может быть повышен [3]. В связи с этим, весьма актуальны исследования по поиску новых систем легирования литейных алюминиевых сплавов.

Авторы этой публикации рассматривают кальций, как основной легирующий компонент литейных алюминиевых сплавов. Кальций формирует эвтектику, которая значительно дисперснее эвтектики в силуминах. Это позволяет реализовать наилучшее сочетание технологичности и механических свойств. Скандий вводится для упрочнения алюминиевого твердого раствора (далее (Al)). Добавка скандия способствует формированию наночастиц фазы Al_3Sc , которые позволяют добиться существенного упрочнения.

Значительный интерес представляет возможность получения сплавов, сочетающих высокие литейные свойства из-за наличия в структуре большой доли эвтектических фаз (в эвтектическом сплаве Al-7,6%Ca объемная доля частиц Al_4Ca составляет около 33%, это примерно в 3 раза больше, чем количество кремниевых частиц в силуминах) и способность хорошо деформироваться. Увеличить пластичность литой дисперсной эвтектической структуры можно с помощью отжига, при котором частицы интерметаллидов дробятся, а затем сфероидизируются.

В 70-80-е годы прошлого века были исследованы сплавы системы Al-Ca-Zn и обнаружена их способность к сверхпластической деформации [4], а авторы работы [5] успешно деформировали образцы сплавов этой системы методом штамповки с кручением.

Целью этой работы было изучение поведения нескольких экспериментальных композиций на основе системы Al-Ca в процессе горячей прокатки.

Были испытаны следующие экспериментальные сплавы: Al-4Ca-0,3Sc-3Mg, Al-4Ca-0,3Sc-10Mg, Al-4Ca-0,3Sc-10Zn, Al-4Ca-0,3Sc-5Cu, Al-4Ca-0,3Sc-4Ni, Al-4Ca-0,3Sc-1Mn. В структуре всех сплавов содержится большое количество эвтектики (Al)+ Al_4Ca . После отжига при 500°C в течение 3 часов частицы Al_4Ca принимают округлую форму и равномерно распределяются в (Al).

Термообработку отливок проводили в муфельных электрических печах SNOL 8,2/1100 с точностью поддержания температуры около 5 К. Твердость по Бринеллю определяли в

соответствии с ГОСТ 9012-59 на твердомере DuraVision-20/200/250 при следующих параметрах: шарик- 2,5 мм, нагрузка- 612,9 Н, время выдержки -30 с.

Микроструктуру литых и термообработанных образцов изучали на оптическом микроскоп Olympus GX51 (ОМ). Для приготовления шлифов применяли механическую полировку с последующим травлением в реактиве Келлера.

Горячую прокатку осуществляли при температуре 450°C на лабораторном стане 260. Тип стана Дуо, реверсивный, максимальная ширина проката 250мм, скорость прокатки 0,2 м/с. Исходные заготовки - плоские отливки с размерами 10x15x180 мм.

Степень деформации после прокатки составляла от 10 до 50% (задаваемое расстояние между валками от 13,2 до 2,4 мм, соответственно). Максимальная общая деформация не разрушившихся образцов составила 83-84%.

После первого прохода с обжатием 10% образцы сплавов Al-4Ca-0,3Sc-3Mg, Al-4Ca-0,3Sc-10Mg полностью разрушились. После обжатия в 40% появились боковые трещины у образцов сплавов Al-4Ca-0,3Sc-5Cu и Al-4Ca-0,3Sc-4Ni. После прокатки с обжатием 50% треснул образец из сплава Al-4Ca-0,3Sc-4Ni. Сплавы Al-4Ca-0,3Sc-10Zn, Al-4Ca-0,3Sc-5Cu и Al-4Ca-0,3Sc-1Mn не разрушились, общая степень деформации этих сплавов составила около 80%.

Заключение

В результате испытаний установлено, что наилучшим образом воспринимают горячую пластическую деформацию сплавы Al-4Ca-0,3Sc с добавками Zn, Cu и Mn. В структуре деформированных образцов интерметаллиды имеют меньшие размеры, чем в структуре до деформации. Это, вероятно, связано с многократными повторами процессов нагрев-деформация, в результате чего интерметаллиды дополнительно дробятся и округляются. В процессе охлаждения с температуры прокатки структура, по-видимому, становится полностью рекристаллизованной, поскольку значения твердости образцов до и после прокатки почти одинаковы.

Литература

1. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справоч. изд. *Энтони У.У., Элиот Ф.Р., Болл М.Д.* / под ред. *Дж.Е.Хэтча* Пер.с англ. М., Металлургия, 1989, 324 с.
2. *Polmear I.J.* Light Metals : From Traditional Alloys to Nanocrystals. 4th edition. Elsevier, 2006. 421 p.
3. *Энтони У.У., Элиот Ф.Р., Болл М.Д.* Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справоч. изд. / под ред. *Дж.Е.Хэтча* Пер.с англ. М., Металлургия, 1989, 324 с.
4. *Ильенко В.М.* Кандидатская диссертация.: МИСиС, 1985
5. *Н.А. Белов. В.И.Титов*, «Влияние кальция на структуру и упрочнение алюминиевых сплавов, легированных цинком и магнием», Цветные металлы, 2008, № 12 , С.64-67.

УДК 669.715

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кирилл Дмитриевич Осминкин

Студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Вакуумная цементация и нитроцементация гарантируют высокие эксплуатационные свойства диффузионных слоев, хорошую воспроизводимость результатов насыщения, оптимальное соотношение цены и качества обработки. При этом известные преимущества имеет совместное насыщение поверхности углеродом и азотом.

Ключевое звено решаемой оптимизационной задачи проектирования технологического режима химико-термической обработки – математическая модель диффузионного насыщения углеродом (углеродом и азотом при нитроцементации). Она включает в себя совокупность термокинетических соотношений, описывающих диффузионный массоперенос насыщающих элементов по сечению детали в условиях зарождения, диффузионного роста, а также частичного или полного растворения частиц цементита и специальных карбидов с учетом влияния содержания легирующих элементов.

Цель работы: разработка режимов вакуумной цементации низколегированных и хромоникелевых сталей на основе математической модели процессов диффузионного насыщения при низком давлении. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: 1) Определить влияние легирующих элементов на особенности использования математической модели ВЦ; 2) Определить влияние технологических параметров циклической ВЦ на параметры диффузионного слоя; 3) Проверка адекватности математической модели; 4) Проведение расчетов распределения концентрации углерода по толщине диффузионного слоя в низколегированных и хромоникелевых сталях при различных режимах ВЦ.

Для исследования применяются белое излучение и обычные оптические системы. Микроанализ позволяет определить структуру полученного слоя, качество слоя, выделения частиц по границам зерен и дает возможность измерить эффективную толщину слоя и определить примерную концентрацию углерода.

Химический анализ – важный метод исследования в данной работе, т.к. только используя этот метод, можно адекватно оценить качество построенной математической модели, определить необходимые граничные условия. С помощью химического анализа можно определить распределение концентрации химических элементов по толщине цементованного слоя образца после различных режимов обработки.

Выводы

Для любой стали можно разработать технологию термической или химико-термической обработки в вакууме, с тем, чтобы все потенциальные возможности данного материала раскрылись в полном объеме, при этом оптимальный вариант технологического режима обработки определяют экспериментальным или расчетным методом. Применение математического моделирования дает возможность максимально интенсифицировать проектирование технологических режимов.

Литература

1. *Рыжов Н.М.* Управление характеристиками диффузионного слоя при вакуумной цементации теплостойких сталей / Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2004, № 8, С. 22–27.
2. *Федюкин В.К., Смагоринский М.Е.* Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989.
3. *Тарасенко Л.В., Пахомова С.А., Унчикова М.В.* *Материаловедение*. - М.: Инфа-М, 2013 – 267 с.

УДК 669.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ И ГОРЯЧЕЛОМКОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-CA

Максим Сергеевич Пантин

Студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.А. Наумова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Литейные сплавы в России в общем объеме производства алюминиевых сплавов составляют порядка 20%. Существующие системы, на базе которых созданы литейные алюминиевые сплавы – Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Cu, Al-Cu-Mn и другие в значительной мере исчерпали ресурсы повышения базовых эксплуатационных характеристик (в частности прочностных). Это существенно сдерживает их применение в наиболее ответственных отраслях. Поэтому имеет смысл рассмотреть принципиально новые системы легирования.

Одним из перспективных легирующих компонентов, по нашему мнению, является кальций. Он, как и кремний, образует с алюминием диаграмму эвтектического типа [1]. В системе Al-Ca согласно данным [1] эвтектика $L \rightarrow (Al) + Al_4Ca$ кристаллизуется при 7,6% Ca и 617 °С. Чисто эвтектический состав экспериментального сплава предполагает высокие литейные свойства, поскольку он имеет нулевой интервал кристаллизации [2].

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию. Поскольку именно эти характеристики являются основными для литейных сплавов, в данной работе была поставлена цель исследовать показатели горячеломкости и жидкотекучести экспериментальных композиций на основе системы Al-Ca [3-5].

Для экспериментального изучения были приготовлены сплавы трех групп: 1) Al-Ca-Mg-Zn, 2) Al-Ca-Sc, 3) Al-Ca-0,3%Sc-X (Zn, Si, Ni, Mg, Fe, Mn). В качестве объектов сравнения рассматривали силумины.

Плавку осуществляли в электропечи сопротивления фирмы LAC. Сплавы готовили на основе алюминия высокой чистоты А99 (ГОСТ 11069-2001). Кальций, магний, цинк, медь и кремний вводили в чистом виде, а остальные элементы в виде лигатур на основе алюминия (Al-2%Sc, Al-10%Fe, Al-20%Ni, Al-10%Mn) согласно ГОСТ 53777-2010. Разливку осуществляли в графитовую форму при температуре 730-750 °С (для ряда сплавов при 800-820 °С), получая плоские отливки с размерами 15x30x180 мм (скорость охлаждения при кристаллизации около 10 К/с). Горячеломкость оценивали с использованием пробы «арфа». Жидкотекучесть определяли с помощью комплексной пробы с вертикальным U-образным каналом. Химический состав экспериментальных сплавов контролировали по данным спектрального анализа.

На первом этапе определяли практическую жидкотекучесть (при постоянной температуре заливки около 760°С) сплавов Al-3.5%Ca-3%Mg-10%Zn и Al-9%Si по U-образной пробе. У сплава с кальцием жидкотекучесть оказалась лучше, чем у сплава системы Al-9%Si, но в процессе затвердевания в отливке образовалось несколько трещин (Рис.1).



Рис.1. Отливки, полученные литьем в комплексную пробу с вертикальным U-образным каналом: а) сплав Al-9%Si, б) сплав Al-3.5%Ca-3%Mg-10%Zn.

Затем исследовали склонность к образованию горячих трещин композиций второй и третьей групп. В сплавах Al-7,6%Ca-0,3%Sc, Al-6%Ca-0.6%Si-0.3%Sc, Al-6%Ca-3%Ni-0.3%Sc, Al-6%Ca-0.7%Fe-0.3%Sc трещин не обнаружилось, отливка из сплава Al-4%Ca-12%Zn-0.3%Sc треснула пополам в основании (питателе), отливка из сплава Al-6%Ca-10%Mg-0.3%Sc треснула во многих местах и полностью развалилась после извлечения ее из формы, в отливке из сплава Al-7%Ca-1%Mn-0.3%Sc треснул центральный стержень, тогда как остальные стержни по обе стороны оказались целыми (это можно приписать не аккуратному извлечению отливки из формы). В отливке из сплава АК5М4 трещин не обнаружено.

Заключение

Почти все исследованные композиции, кроме Al-4%Ca-12%Zn-0.3%Sc и Al-6%Ca-10%Mg-0.3%Sc, не проявили склонности к образованию горячих трещин. Сплав Al-3.5%Ca-3%Mg-10%Zn по жидкотекучести превосходит сплав Al-9%Si, но, по-видимому, склонен к образованию горячих трещин. Поэтому необходимо провести работы по построению соответствующих диаграмм состояния с целью оптимизации составов композиций для обеспечения наилучшего сочетания технологических характеристик.

Литература

1. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства сплавов/ Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
2. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов - М.: МИСиС, 2005, 376 с.
3. N. Kono, Y. Tsuchida, S. Muromachi and H. Watanabe, Study of the Al-Ca-Zn Ternary Phase Diagram, Light Metals, Vol. 35, 1985, pp.574-580.
4. Н.А. Белов. В.И. Тутов, «Влияние кальция на структуру и упрочнение алюминиевых сплавов, легированных цинком и магнием», Цветные металлы, 2008, № 12, С.64-67.
5. Н.А. Белов «Высокопрочный сплав на основе алюминия с добавкой кальция». Патент РФ № 2478132, публ. 27.03.2013, бюл. №9.

УДК 62-405.6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ПРЕКУРСОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ «ТОЛСТЫХ» АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИКРОПРОВОДОВ МЕТОДОМ УЛИТОВСКОГО-ТЕЙЛОРА

Дмитрий Михайлович Панферов

*Студент 5 курса**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: В.В.Молоканов**старший научный сотрудник ИМЕТ РАН*

Ферромагнитные аморфные металлические сплавы находят все более широкое применение в различных областях техники. Промышленностью освоен выпуск аморфных лент для трансформаторов, магнитопроводов, магнитных экранов. Особые надежды исследователей связаны с освоением производства «толстого» аморфных микропроводов, получаемых методом Улитовского-Тейлора. Такие микропровода обладают уникальным сочетанием и рекордным значением механических и магнитомягких характеристик. Открываются широкие перспективы использования этих проводов в качестве конструкционных и композиционных материалов, создания новых типов высокочувствительных датчиков электромагнитных полей[1].

Стресс-композиты типа полимер-металл позволяют осуществлять бесконтактный мониторинг напряжений в ответственных объектах и могут найти применение в строительстве, авиации, кораблестроении (мосты, беспилотники, безвоздушные шины, бамперы, контроль состояния ледовых переправ, аэродромов, состояния шахтного оборудования и др.). Еще одним перспективным направлением является создание новых видов миниатюрного медицинского инструмента для эндоваскулярной хирургии. Такие материалы обладают высокой коррозионной стойкостью, рентгеноконтрастностью, способностью к заточке до атома, из них могут быть изготовлены миниатюрные пружины с переменным шагом, стелды сложной конфигурации, средства доставки и рабочий инструмент. Применение такого инструмента существенно расширяет возможности проведения сложных операций на сосудах малого диаметра.

Проведено систематическое исследование концентрационной области устойчивости ферромагнитных аморфных проводов в базовой эвтектической системе $(\text{Fe-Co-N})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ определена концентрационная область благоприятная для получения аморфных микропроводов диаметром более 50 мкм, не содержащих стеклянной оболочки. Определены составы и проведено их обоснование, для которых могут быть получены провода с высокой пластичностью с рекордным значением диаметров 100-200 мкм.

Литература

1. Чуева Т.Р., Молоканов В.В., Заболотный В.Т., Умнов П.П., Умнова Н.В. Формирование «толстых» пластичных аморфных ферромагнитных микропроводов, полученных методом Улитовского-Тейлора, в системе $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}\text{-Co}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}\text{-Ni}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ // Перспективные материалы, 2014, №3, с. 34-39.

УДК 620.18:669-419:621.771

ИЗУЧЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Денис Андреевич Плохих

Студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.В. Власова

ассистент кафедры «Материаловедение»

Актуальной научно-технической задачей машиностроения является снижение габаритно-весовых параметров деталей и элементов конструкций, решение которой позволяет существенным образом повысить эксплуатационные показатели изделия в целом. Перспективным подходом для создания материалов конструкционного назначения, является использование высокопроизводительного метода горячей прокатки компактных многослойных заготовок. Проведенные исследования показали, что получение многослойной структуры возможно в том случае, если в исходной композиции участвуют сплавы, имеющие различное кристаллическое строение [1].

Исследование механических свойств исследованных композиций показали, что благодаря многослойной ламинарной структуре ударные образцы с U и V надрезом с размером 2x8x55 мм, из сталей отдельных композиций, копром мощностью 300 Дж, в направлении перпендикулярном направлению проката, не подвергаются разрушению [2]. Однако, такое поведение наблюдается не во всех композициях многослойных материалов. Поэтому задачей исследования стал анализ механизмов разрушения ударных образцов многослойных материалов имеющих разные составы и строение.

В качестве основных объектов были выбраны образцы многослойных материалов, которые вначале первого технологического цикла состояли из 100 чередующихся между собой слоев толщиной 0,5 мм, различных сталей, по 50 каждой марки. По экспериментальному технологическому маршруту были получены заготовки листового сортамента толщиной 10 мм, которые прошли один и два полных технологических цикла. Из полученных заготовок, после завершения каждого цикла, были изготовлены ударные образцы для определения значений ударной вязкости исследуемых композиций. При этом концентраторы напряжений наносились на ударные образцы, как в перпендикулярном, так и в продольном направлении относительно направления горячей прокатки. Испытания проводились с использованием автоматизированного режима записи диаграммы в координатах «сила-прогиб образца».

В результате испытаний было установлено, что полному разрушению не подвергаются многослойные материалы прошедшие два полных технологических цикла и сохранившие свое слоистое строение. Материалы, не сохранившие многослойное строение, разрушаются, как обычные поликристаллические материалы.

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ.–2010.– № 6. С. 44-49
2. Колесников А.Г., Плохих А.И. Конструкционные металлические материалы с субмикро- и наноразмерной структурой//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. –2010.– Специальный выпуск «Наноинженерия». - С. 44-52.

УДК 621.77.01

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ксения Борисовна Поликевич

*Студент 4 курса**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.И. Плохих**кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Как показывает практика, весьма эффективным при создании перспективных образцов техники, является использование новых нетрадиционных материалов, характерной особенностью которых является наличие градиентной структуры. К их числу можно отнести новый класс конструкционных металлических материалов, получаемый на основе синтеза многослойных композитных заготовок 1.

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. Известно, что при одинаковых деформационных, температурных и скоростных параметрах процесса силы прокатки многослойного образца, состоящего из 100 чередующихся слоев стали 08X18H10 и У8, на 50 % превышают силы прокатки образца, состоящего из такого же количества слоев стали У8, и более чем на 100 % равного по размерам монолитного образца из той же стали □2□.

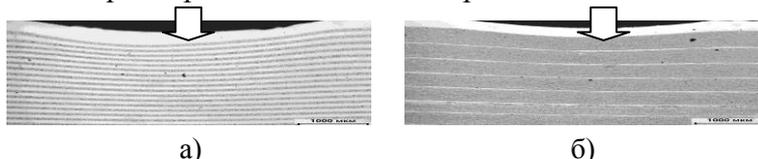


Рис. 1. Деформация слоев под действием нагрузки: а - первый технологический цикл;
б - второй технологический цикл

Для изучения этого эффекта было предпринято исследование, направленное на изучение структуры многослойного материала, подвергнутого действию локальной деформации. Деформирование проводилось шаровым индентором □10 мм с использованием прессы Бринелля при нагрузке на образец равной 3 тоннам. В качестве объектов исследования были выбраны образцы многослойного материала, составленного из сталей У8 и 08X18H10 с количеством слоев 100 и 2000 шт. Нагрузка прикладывалась по направлению перпендикулярно слоям образца, после чего образцы были разрезаны для исследования микроструктуры. Металлографическое исследование показало, что глубина проработки образца в направлении приложения нагрузки, зависит от степени структуризации многослойного материала (рисунок 1).

Причиной увеличения сопротивления деформации композитных заготовок может являться формирование особого вида структуры, известной как «бамбуковая», которая формируется на заключительных стадиях первого технологического цикла и наследуется на втором цикле изготовления. При этом, если на первом цикле изготовления в толщине отдельного слоя может находиться несколько зерен, то на заключительной стадии второго технологического цикла это чаще всего одно зерно, имеющее одну кристаллографическую ориентировку (рисунок 2).

На основании сказанного можно предположить, что по мере утонения слоев в многослойном материале происходит повышение жесткости материала заготовки в нормальном направлении по отношению к направлению прокатки. Причиной этому является, в первую очередь, локализация пластического течения в отдельных слоях, а также увеличение общего количества межслойных границ.

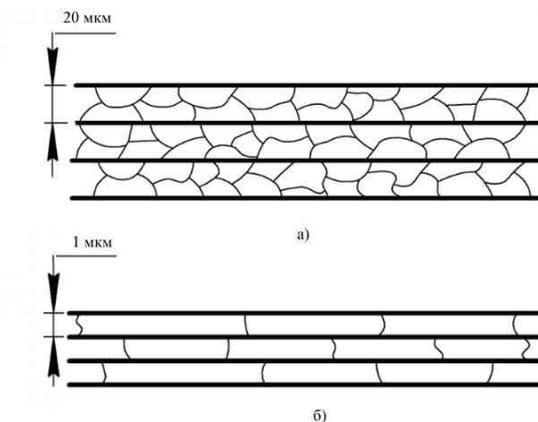


Рис. 2. Схема изменения строения слоев: а - первый технологический цикл; б - второй технологический цикл

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки//МиТОМ. □2010. □ № 6. □С. 44□49
2. 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

УДК 679.742.2

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИКЕЛИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 01417м.

Ирина Сергеевна Пронина

Студентка 5 курса

кафедра «Материаловедение в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.С. Крапошин

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Основной задачей современной авиационной промышленности является снижение массы летательных аппаратов. Значительную часть занимает бортовая кабельная сеть. Для уменьшения ее массы используют провода с алюминиевыми жилами и экранами вместо медных. Это дает выигрыш в массе до 3-х раз (плотность алюминия — 2700 кг/м³, меди — 8900 кг/м³).

Алюминий нашел широкое применение в электроэнергетике, авиационной и космической промышленности благодаря своим уникальным технико-эксплуатационным характеристикам, таким как электропроводность, низкая плотность, а, следовательно, малый вес изделий, высокая коррозионная стойкость.

Сплав 01417м относится к цериевой подгруппе. Легирование алюминия лантаном и церием слабо влияет на электропроводность, но заметно повышает механические характеристики. Для повышения теплостойкости бортовых кабелей применяют никелированную проволоку из алюминиевого сплава.

Целью работы является изучение физико-механических свойств никелированной проволоки из алюминиевого сплава 01417м.

В работе проведены: физико-механические испытания проволоки, изучено влияние водорода на пластичность проволоки. Были проведены комплексные испытания проводов с жилой из никелированной проволоки на срок службы не менее 20 лет.

Результаты работы показали, что полученная проволока соответствует ТУ.

Литература

1. *Ямпольский А.М., Ильин В.А.* Краткий справочник гальванотехника, Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1962, 244 с.
2. *Смирягин А.П.* Промышленные цветные металлы и сплавы, Металлургия, 1970. 364 с.
3. *Гамбург Ю.Д.* Гальванические покрытия. Справочник по применению. М.: Техносфера, 2006. - 220 с.
4. *Леонов В.М., Пешков И.Б.* Основы кабельной техники. М.: "Академия", 2006. - 432 с.
5. *Пешков И.Б.* Материалы кабельного производства. М.: "Академия", 2010. - 463 с.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ПРИ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Александр Александрович Силкин

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Курганова

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Коберник Н.В.

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время в промышленности существует проблема сварки толстолистовых конструкций, связанная с ограничением площади металла, наплавленного за один проход. При превышении этого ограничения в металле шва возникает крупнозернистая структура, снижающая механические свойства шва, что приводит к потере работоспособности изделия.

Поэтому в настоящее время достаточно остро встал вопрос о разработке новых и совершенствовании уже существующих технологий модификации металла шва во время сварки.

Известно, что нанопорошки оказывают значительное модифицирующее влияние на структуру и свойства литого металла. В данной работе рассмотрено влияние нанопорошков на структуру и механические свойства металла сварного шва.

Для оценки влияния нанопорошков на структуру и свойства металла шва проводили сварку с введением порошков в расплав сварочной ванны. Нанодисперсные порошки TiN,

TiCN и WC вводили в составе композиционных гранул, которые предварительно засыпали в разделку кромок.

Результаты испытаний сварных швов на ударную вязкость представлены на рисунке 1.

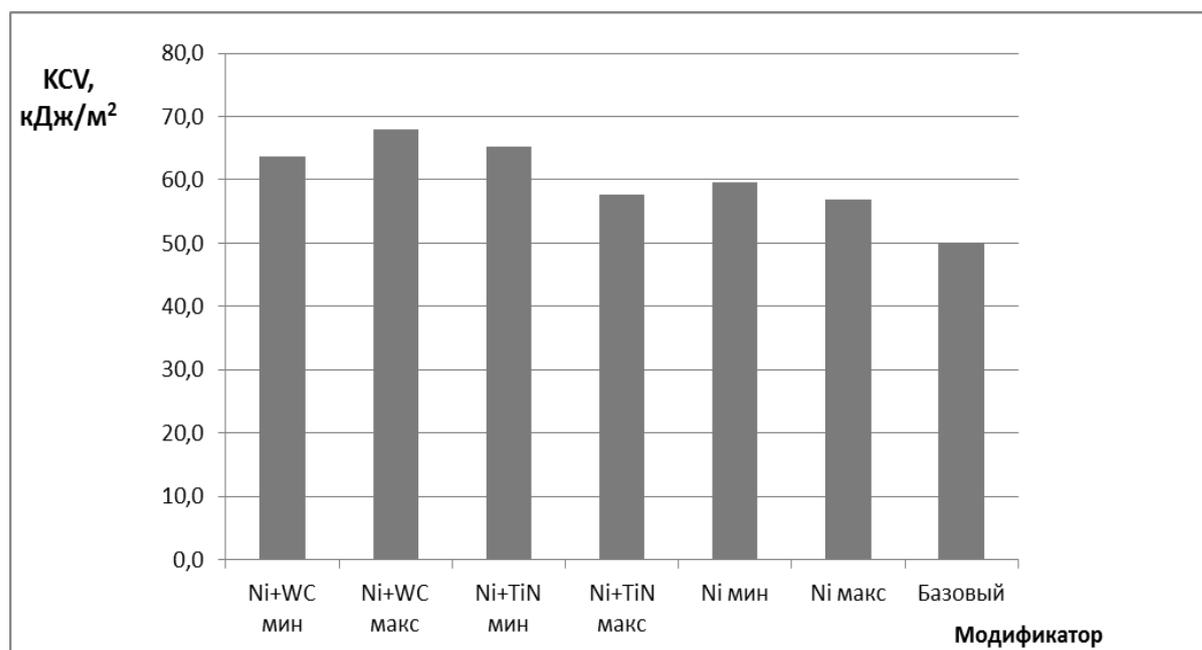


Рис. 1. Ударная вязкость образцов при испытании при -20°C

Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiCN (<100 нм), способствует увеличению твёрдости металла шва в среднем на 12 %. При этом разрушение образца с введением частиц TiCN (<100 нм) при ударных нагрузках может быть оценено по отношению к немодифицированному образцу, как более вязкое. В случае гранул, содержащих частицы TiN (<100 нм), прирост твёрдости металла шва менее значителен и составляет 3 %. Наиболее значительное увеличение твёрдости наблюдается в образцах, модифицированных WC (<100 нм), и составляет 27 %. В случае гранул Ni, не содержащих наноразмерные частицы, прирост твёрдости металла шва составляет 20 %.

Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiN (<100 нм) привело к повышению ударной вязкости на 15-30 % (65 кДж/м² вместо 50 кДж/м² и $57,7$ кДж/м² вместо 50 кДж/м²). Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiCN привело к увеличению величины ударной вязкости металла шва на 8 % (54 кДж/м² вместо 50 кДж/м²). Добавление частиц Ni без наночастиц привело к повышению ударной вязкости на 14-20 %. Влияние WC оказалось наиболее значительным: введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы WC привело к увеличению величины ударной вязкости металла шва на 28-36 %. Причём, в этом случае не было достигнуто насыщение частицами. В остальных случаях увеличение количества частиц приводило к меньшему росту свойств.

Таким образом, все нанопорошки оказывают модифицирующее воздействие, положительно отражающееся на свойствах металла при неравновесной кристаллизации. При дальнейших исследованиях особое внимание следует уделить композиционным гранулам никеля, содержащим нанодисперсный монокарбид WC.

Литература

1. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама /Г.Н. Соколов, А.С. Трошков, В.И. Лысак и др. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 6. – С 41-47.

3. Влияние нанодispersных карбидов W и никеля на структуру и свойства наплавленного металла / Г.Н. Соколов, А.С. Трошков, В.И. Лысак и др. // Сварка и Диагностика. – 2011. – №3. – С.36-38.
4. Влияние наноразмерных порошков карбида вольфрама на структуру и свойства металла шва / А.А. Линник, А.С. Панкратов, Н.В. Коберник // Машиностроение. – 2013. - №6. – С.66-71.
5. Т.А. Чернышова, Ю.А. Курганова, Л.И. Кобелева, Л.К. Болотова. Литые дисперсионно-упрочнённые алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение. Ульяновск: УлГТУ, 2012. – с. 295.
6. Роль частиц нанопорошков при формировании структуры алюминиевых сплавов / Г.Г. Крушенко // Металлургия машиностроения – 2011. - №1. – С.20-24.

УДК 669.15-194.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ОТЖИГА В КОЛПАКОВЫХ ПЕЧАХ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СТАЛИ МАРКИ 08Ю С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МИКРОЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Екатерина Михайловна Симич-Лафицкая

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Холоднокатаная листовая сталь с пределом текучести до 200 МПа (тип "мягкой" стали) по-прежнему находит широкое применение для изготовления лицевых деталей кузова: крылья, панель капота, панель крыши багажника, передняя и задняя панель, панель пола, боковина; доля металла лицевых деталей по массе составляет примерно седьмую часть всего кузова автомобиля [1, 2].

За последние 20-30 лет, благодаря проведению целого ряда научных и технологических работ, удалось существенно повысить уровень показателей штампуемости холоднокатаного проката из стали 08Ю, освоить производство проката наиболее высоких категорий вытяжки (весьма особо сложной вытяжки (ВОСВ) и весьма особо сложной вытяжки с повышенными технологическими свойствами (ВОСВ-Т) с низким пределом текучести. В то же время, в первом десятилетии XXI века в отдельные периоды стали возникать проблемы, связанные с резким снижением показателей штампуемости отдельных партий проката, в частности, с получением более высоких значений предела текучести и более низких значений относительного удлинения, чем требуемые для стали высших категорий вытяжки [3].

Целью данной работы является установление закономерностей влияния параметров рекристаллизационного отжига при различных содержаниях примесных элементов на механические свойства низкоуглеродистой стали 08Ю для уточнения допустимых пределов содержания каждого элемента и обеспечения уровня свойств, соответствующего требованиям к прокату наиболее высоких категорий вытяжки – ВОСВ-Т и ВОСВ-ТМ при существующей технологии получения горячекатаного подката и холоднокатаного проката.

На основании производственного опыта металлургических заводов и проведенных научных исследований за последние 20 лет стало известно, что при повышенном содержании некоторых примесей существует возможность обеспечения высокого комплекса свойств

холоднокатаного проката путем оптимизации параметров сквозной технологии производства, в частности режимов рекристаллизационного отжига в колпаковых печах [4].

В данной работе образцы изготавливали методом горячей прокатки с разной степенью обжатия. Горячая прокатка слэбов на размер 3,5 мм осуществлялась на непрерывном широкополосном стане 2000. После охлаждения рулонов ниже 80 °С производили травление полос на НГА-3. Холодную прокатку осуществляли на 5-ти клетевом непрерывном стане бесконечной прокатки.

Для определения влияния параметров рекристаллизационного отжига в колпаковых на структуру и свойства низколегированной стали 08Ю образцы размером 30 мм x 15 мм (для исследования микроструктуры) и 200 мм x 20 мм (для механических испытаний) подвергали термообработке по четырем режимам. Имитировали режим колпакового отжига с варьированием температуры первой ступени: 350, 400, 450 и 500 °С и с одинаковой температурой второй ступени, равной 700 °С. Время лабораторной выдержки корректировали с учетом масштабного фактора. Режимы отжига отличаются временем нагрева до температуры выдержки при первой ступени, так как возможности печи не позволяют осуществить нагрев до разных температур выдержки за одинаковый промежуток времени. Время выдержки для всех режимов одинаково. Охлаждение проводили с печью. Для предотвращения окисления образцы были засыпаны корундом.

В данной работе была изучена микроструктура стали до и после отжига. Определена зависимость размера зерна после отжига для различных химических составов стали. Проведены механические испытания различных плавок стали для определения зависимости механических свойств от параметров отжига.

Выводы. С учетом масштабного фактора, результаты эксперимента по лабораторному моделированию подтверждают целесообразность использования для сталей с повышенным содержанием примесей более высокие температуры первой ступени при отжиге.

Литература

1. *Беняковский М.А., Масленников В.А.* Автомобильная сталь и тонкий лист.- Издательский дом «Череповец», 2007.- 636 с.
2. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки – М.: Издательство стандартов, 1993.
3. *Шахпазов Е.Х., Зайцев А.И., Родионова И.Г.* Современные тенденции развития металлургической технологии и аспекты повышения свойств и надежности металлопродукции. Проблема неметаллических включений в стали // Проблемы черной металлургии и материаловедения, 2009, № 3, С. 11-20.
4. *Блек В., Боде Р., Фельд А.* Разработка новой холоднокатаной стали для особо глубокой вытяжки // Черные металлы.- 1994, №3. С. 19-27.

УДК 62-405.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Ненад Драганович Симич-Лафицкий⁽¹⁾, Анастасия Андреевна Александрова⁽²⁾

*Студент 6 курса⁽¹⁾, студентка 4 курса⁽²⁾
кафедры «Материаловедение»*

Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.О. Базалева

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время большой интерес представляют аддитивные технологии изготовления машиностроительных деталей, в том числе технология лазерной перекристаллизации порошковых материалов. С помощью данных технологий можно получать детали сложной формы с меньшими затратами, по сравнению с традиционными технологиями, в процессе селективного лазерного плавления расплавленный слой порошка охлаждается с очень высокой скоростью (порядка 10^5 °/с), что приводит к возникновению неравновесных структур.

Целью данной работы являлось исследование структуры и свойств жаропрочного никелевого сплава Ni-10.6%Cr-4.7%Co-5.6%Al-2.7%Ti-4%Mo-5.2%W-0.16%C-0.02%B (ЖС6-ВИ), полученного методом селективного лазерного плавления (СЛП) и с дополнительными обработками после селективного лазерного плавления термической и газостатической обработкам (ГИП) при температуре 1220°C в течение 3ч и охлаждении на воздухе, при ГИП давление аргона составляло 170МПа.

В данной работе селективное лазерное плавление осуществлялось с помощью установки Concept Laser M2 Cusing. В процессе СЛП на подложку подается тонкий слой порошкового материала, поверхность порошка выравнивается и обрабатывается сканирующим лазерным пучком. Сканирование лазера по поверхности слоя позволяет создать профиль любой формы. Далее, подача порошкового материала, его выравнивание и обработка лазером повторяется многократно, что позволяет послойно создавать объект любой толщины и конфигурации. В данной работе мощность лазера составляла 170 Вт, скорость сканирования по поверхности – 800 мм/с, диаметр сфокусированного пятна лазера – 150 мкм.

Из литературных данных известно, что характерной структурой, формирующейся в результате лазерного переплава порошкового материала, является ячеистая структура кристаллизации. Структура сплава была исследована стандартными методами оптической металлографии, растровой электронной микроскопии, а также был проведен рентгendifракционный фазовый анализ и измерение микротвердости.

С помощью металлографического анализа и растровой электронной микроскопии было показано, что в исходном состоянии сплав имеет ячеистую структуру, однако после дополнительных обработок она исчезает. Кроме того, в структуре исходного сплава фиксируются ванны расплава, разбитые на структурные фрагменты.

Методом рентгendifракционного фазового анализа показано, что в структуре сплава присутствуют γ -твердый раствор на основе никеля и изоморфная ему γ' -фаза (Ni_3Al), которая представляет собой упорядоченный γ -твердый раствор. Также в структуре сплава обнаружены карбидные частицы типа MeC с ГЦК кристаллической решеткой и Me_2C с ГПУ решеткой, где ($\text{Me} = \text{Ti}, \text{Mo}, \text{W}$) и фазы Ni_3Ti и Ni_4V_3 . После обработки в структуре сплава обнаружены γ и γ' -фазы (Ni_3Al), а также карбиды типа Me_6C и MeC и фаза Ni_3Ti .

Измерение микротвердости показало, что твердость сплава после селективного лазерного плавления выше $400 \text{HV}_{0,05}$, а после дополнительной обработки несколько падает.

Литература

1. Lore Thijs, Frederik Verhaeghe, Tom Craeghs, Jan Van Humbeeck, Jean-Pierre Kruth. A Study Of The Microstructural Evolution During Selective Laser Melting of Ti-6Al-4V // Acta Materialia, 2010.
2. Евгений А. Г., Роголев А. М., Неруш С. В., Мазалов И. С. Исследование свойств сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления металлических порошков // Электронный научный журнал «ТРУДЫ ВИАМ», 2015.- № 2.
3. Chunlei Qiu, Nicholas J.E. Adkins, Moataz M. Attallah. Microstructure And Tensile Properties Of Selectively Laser-Melted And Of Hiped Laser-Melted Ti-6Al-4V // Materials science and engineering, 2013.

УДК 669.245.018.44

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОЛОСТИ ЛОПАТОК ТУРБИН

Павел Александрович Стехов

Студент 6 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И. Гришин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Предметом данного исследования являлись рабочие лопатки турбины высокого давления (ТВД) со сложной формой внутренней полости.

В данной работе рассмотрена эволюция рабочих лопаток ТВД. Приведены возможные конфигурации внутренней полости лопаток. Разрушение лопаток ТВД по статистике начинается именно с трещин внутренней полости.

В данной работе были рассмотрены процессы нанесения барьерного слоя из углерода, на жаропрочные без углеродистые сплавы на основе никеля. Рассмотрены алюминидные и хромалюминидные покрытия на безуглеродистых жаропрочных никелевых сплавах. Показана эффективность барьерного цементированного слоя для защиты внутренней полости лопаток ТВД.

Литература

1. *Каблов Е.Н.* Литые лопатки газотурбинных двигателей. - 2001
2. *Мубояджян С.А.* Защитные покрытия для деталей горячего тракта ГТД: - «ВИАМ» 2010.

УДК 669.174

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ МАТЕРИАЛА ЖАРОПРОЧНЫХ ХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА В УРАВНЕНИИ ЛАРСЕНА-МИЛЛЕРА

Елена Станиславовна Тепишкина

Студентка 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И. Гришин

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Актуальным направлением развития тепловой энергетики в России и за рубежом является переход к созданию установок повышенной эффективности с рабочей температурой пара и давлением выше существующих. Переход к созданию установок с такими параметрами напрямую связан с проблемой наличия материалов способных обеспечить безопасную эксплуатацию энергооборудования на протяжении всего ресурса [1].

Наиболее перспективными материалами для элементов паропроводного и теплообменного оборудования для тепловых электростанций, обладающими одновременно высокой жаропрочностью, вязкостью, коррозионной стойкостью в пароводяной среде и высокой технологичностью, являются 9% хромистые жаропрочные стали [2].

В 1980-е годы этому классу материалов было посвящено большое количество работ, на основании которых за рубежом разработаны стали марок X10CrMoVNb (T/P 91), X11CrMoWVNb9-1-1 (E911), в России стали марок 10X9MФБ, 10X9HСMФБ и 10X9B2MФБР, 10X9K3B2MФБР.

Указанные стали нашли широкое применение в качестве конструкционных материалов элементов паропроводного и котельного оборудования ТЭС с рабочей температурой пара до 600°C, срок эксплуатации которого превысил 100 000 часов, и в настоящее время рассматриваются как перспективные материалы для теплообменного оборудования АЭС.

Высокий уровень жаропрочности этих сталей обеспечивается легированием и структурой, сформировавшейся в результате термической обработки (нормализации с последующим высоким отпускком).

Важной задачей также является определение работоспособности материала в заданном временном интервале и прогнозирование возможности увеличения временного ресурса. С точки зрения жаропрочности основными являются испытания на ползучесть и длительную прочность.

В данной работе рассмотрены основные механизмы пластической деформации и различные способы ее описания. Для марки жаропрочной хромистой мартенситной стали 10X9K3B2MФБР проведены испытания по определению длительной прочности и вычислена постоянная материала в уравнении Ларсена – Миллера.

Литература

1. В. Дуб, В. Н. Скоробогатых и И. А. Щенкова, «Новые жаропрочные хромистые стали для перспективных объектов тепловой энергетики,» *Теплоэнергетика*, № 7, pp. 47-53, 2008.
2. R. Wiswanathan и W. T. Bakker, «Materials for Boilers in Ultra Supercritical Power Plants,» 2000.
3. П.А. Антикайн. *Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов.* - М.: Энергосервис, 2001.- 440 с.
4. Работнов Ю.Н. *Ползучесть элементов конструкций.* - М.: Наука, 1966. 752 с.
5. Abe, F. Bainitic and martensitic creep-resistant steels, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol. 8 (2004), pp. 305-311.
6. Й. Чадек. *Ползучесть металлических материалов*, пер. с чешск. – М.: Мир, 1987. -304 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА МАТРИЦ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Елена Станиславовна Тепишкина⁽¹⁾, Ирина Александровна Тихонова⁽²⁾

Студентка 4 курса⁽¹⁾, студентка 5 курса⁽²⁾

Кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.А. Нелюб

директор МИЦ КМ "Композиты России"

Среди наиболее важных требования, предъявляемых к конструкциям авиастроения, судостроения, автомобилестроения, можно назвать: минимальную массу; максимальную жесткость и прочность узлов, максимальный ресурс работы конструкций в условиях эксплуатации, высокую надежность. В настоящее время главным классом материалов, удовлетворяющим всему комплексу перечисленных требований, являются композиты на основе

современных углеродных, борных, органических и стеклянных волокон в сочетании с полимерными, металлическими, углеродными, керамическими и другими видами матриц. Полимерные композиционные материалы получили широчайшее распространение, благодаря высоким деформационно-механическим характеристикам и очень хорошей технологичности, что позволяет формировать из них изделия в широчайшем диапазоне температур [1-5].

Одним из наиболее дешевых связующих являются полиэфирные материалы, которые также обладают комплексом хороших механических свойств. Отверждение полиэфирных связующих может проходить как при повышенных температурах, так и при комнатной. Однако, при изготовлении изделий бытового назначения, с целью удешевления изделий, процесс отверждения проводят при комнатной температуре.

Целью работы является рассмотрение влияния режимов отверждения на свойства матриц и композитов на их основе.

Для исследований в работе использовали метод дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Объектами исследования служили образцы из полиэфирного связующего, а в качестве наполнителя применяли стекловолокно. Образцы отверждали по нескольким режимам, как при комнатной температуре, так и при повышенной в течение различного времени. Всего в работе было исследовано 5 режимов отверждения.

Для каждого из рассматриваемых режимов были проведены измерения теплового эффекта реакции отверждения. В работе проводилось три последовательных нагрева каждого из исследуемых образцов и установлено, что при первом нагреве определяется значение тепловых эффектов, происходящих в процессе отверждения. При втором и третьем нагревах определяется степень завершенности реакции отверждения и значение температуры стеклования. Вторым способ определения полноты отверждения являлся метод динамомеханического анализа (ДМА). Различия в модулях упругости до и после режимов постотверждения позволяли определить степень завершенности химической реакции отверждения. С помощью этого метода мы также определяли температуру стеклования. В результате проведенных исследований установлено, что для исследованных составов полиэфирного связующего не произошло их полного отверждения при комнатной температуре в течение 24 ч и требуется дополнительный нагрев. Установлены оптимальные значения температуры и времени нагрева.

Литература

1. *Нелюб В.А.* Технологии производства деталей опор линий электропередач из эпоксидных связующих методами намотки // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2012. № 6. С.25-29.
2. *Нелюб В.А., Гращенков Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А.* Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков // *Химическая технология.* 2012. № 12. С.735-739.
3. *Нелюб В.А., Карасева А.А., Боченкова А.А.* Конструкционные стеклопластики на основе полиэфирной матрицы // *Все материалы. Энциклопедический справочник.* 2012. № 7. С.46-49.
4. *Александров И.А., Малышева Г.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С.* Механизм разрушения микро углепластиков на основе эпоксидных связующих //
5. *Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Шимица Ю.Ю.* Оценка температур фазовых переходов полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2014. № 6. С.29-33.

УДК 621.77.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Чан Юэ

Магистр 2 года

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Применение многослойных металлических материалов в ряде случаев позволяет значительно повысить ресурс деталей и конструкций, работающих в условиях высоких нагрузок при экономии дорогостоящих легирующих элементов. Наряду с известным применением би-, три- и других многослойных материалов, перспективным может оказаться использование заготовок состоящих из сотен слоев разнородных металлов и сплавов.

В качестве основных объектов исследования были использованы образцы многослойного материала, которые состояли из 100 чередующихся между собой слоёв сталей У8 и 08кп толщиной 0,5 мм, по 50 каждой марки. По экспериментальному технологическому маршруту [1], при разных температурах прокатки (800 °С, 900 °С, 1000 °С), были получены заготовки листового сортамента толщиной 10 и шириной 100 мм, из которых были изготовлены образцы для проведения структурных исследований.

Для создания условий диффузии углерода, полученные образцы были подвергнуты нагревам при температуре 1000 °С с выдержкой от 0,5 до 3 часов и последующему исследованию структуры с помощью световой оптической микроскопии. Вторая группа аналогичных образцов была подвергнута термоциклированию в количестве 5 и 10 циклов нагрева до температуры 1000 °С с последующим охлаждением на воздухе.

В результате проведенных исследований было установлено, что характер изменения внутреннего строения слоев в образцах полученных прокаткой при температуре 800 °С, которое выявляется, как изменение объемной доли и линейных поперечных размеров темных (перлитных) участков в слоях, говорит о протекании межслойной выравнивающей диффузии углерода, происходящей из слоев стали с высоким содержанием углерода (У8) в слои (08кп) с пониженным его содержанием. При этом, величина перлитных участков соизмерима с толщиной слоя, который составляет около 100 мкм. Перлитные участки в слоях бывшей стали У8 разделены между собой широкими светлыми полосами, предположительно состоящего из структурно свободного феррита. На ламинарных границах раздела по всей длине также выявляется светлая безуглероденная полоса.

В отличие от слоев бывшей стали У8, структура слоев малоуглеродистой стали (У8) имеет мелкокристаллическое строение с размерами зерен не более 10 - 12 мкм, которые являются следствием активно протекающей перекристаллизации [2].

Исследование влияние циклов нагрева и охлаждения показало, что характер изменения структуры остается неоднозначным. Так после 5 циклов нагрева до 1000 °С и охлаждения до 20 °С, можно наблюдать образование чрезвычайно крупных перлитных участков с равномерным окрасом, без видимых внутренних границ раздела по всей толщине слоя, размером 100x200 мкм. При увеличении числа циклов до 10, картина меняется в сторону размытия четкой ламинарной границы с тенденцией на поглощение крупнокристаллической структуры структурой мелкокристаллической.

В результате проведенных исследований было установлено, что образцы подвергнутые нагревам при температуре 1000 °С с выдержкой от 0,5 до 3 часов, имели микротвердость в

слоях сталей У8 и 08кп большую, чем образцы в исходном состоянии. Исследование влияния циклических нагревов до температуры 1000 °С показало аналогичные результаты (рис. 1, 2). В тоже время, в слоях стали У8 наблюдается образование чрезвычайно крупных перлитных участков, имеющих более высокую твердость, чем твердость в слоях, ранее бывших сталью 08кп (рис. 3).

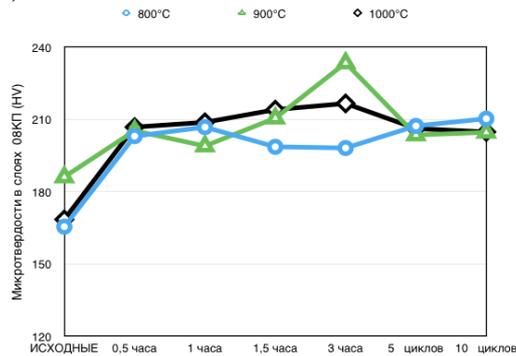


Рис.1. Микротвердость слоев стали 08кп

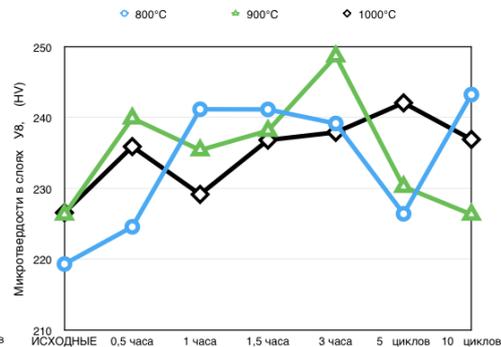
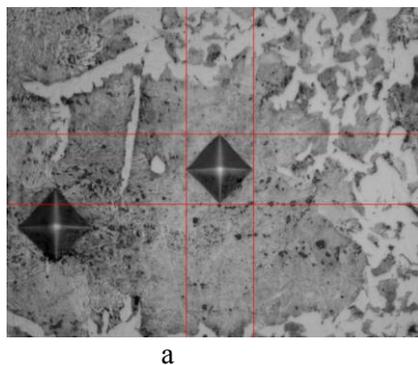
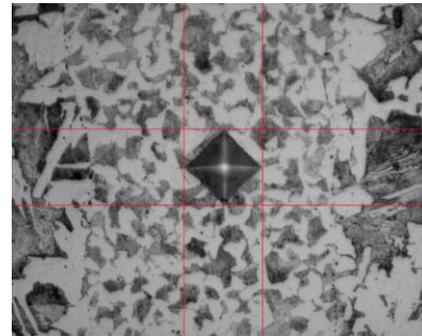


Рис.2. Микротвердость слоев стали У8



а



б

Рис.3. Микротвердость перлитного участка слоя: а - стали У8 (264HV); б - стали 08кп (215HV) ($T_{пр}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10 циклов)

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать заключение о наличии нескольких стадий, сопровождающих нарушение межслойной границы многослойного материала У8+08кп в процессе термической и термоциклической обработки.

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // *Металловедение и термическая обработка металлов.* - 2010. - № 6.- С. 44-49.
2. Чан Юэ. Исследование влияния диффузионной подвижности углерода на стабильность структуры многослойных металлических материалов на основе сталей. // *Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии».* – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.

УДК 621.785.5

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ТИПА ВКС-7 ПУТЁМ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Полина Игоревна Чернышова⁽¹⁾, Алексей Павлович Алёхин⁽²⁾

студентка 4 курса⁽¹⁾, аспирант 3 года⁽²⁾

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. При этом если в механике трения имеются определённые успехи, то в области металлофизических представлений и металловедения наблюдается серьёзное отставание, которое приводит к понижению теоретического уровня исследований процессов трения и, как следствие, к неизбежному разрыву с задачами практики. Поэтому целью данной работы является изучение влияния азота на износостойкость азотированных сталей.

Преобразование структуры при трении реализуется на отдельных пятнах контакта в условиях жёсткого напряжённого состояния. Поэтому структура и свойства поверхностного слоя отличаются от структуры и свойств, характерных для условий объёмной деформации и термической обработки.

В последнее время фрикционное материаловедение является быстроразвивающимся направлением в науке о трении и износе, так как именно с этим направлением связано решение основной задачи машиностроения – обеспечение долговечности подвижных сопряжений

Исследовали образцы стали мартенситного класса 16Х2Н3МФБАЮ-Ш (ВКС-7). В качестве метода азотирования было выбрано ионно-плазменное (ИПА). Образцы подвергались ИПА по различным режимам с целью изучения влияния параметров насыщения слоя на износостойкость. Перед ИПА проводили закалку (900 ± 10 °С) и высокий отпуск (600 ± 10 °С).

Испытания проводили по методу поверхностного трения/изнашивания на трибометре Nanovea.

Выводы

1. При упрочнении поверхностного слоя всегда необходимо распространение высокой твердости на некоторую толщину. Для этого требуется время. Поэтому очень короткие выдержки при азотировании не рекомендуются. Однако следует иметь в виду, что при увеличении времени азотирования происходит разупрочнение сердцевины, что сказывается на значении предела выносливости σ_{-1} – уменьшает его.

2. Время для получения упрочненного слоя тем меньше, чем больше температура процесса. При повышенных температурах азотирования (560-600 °С) также уменьшается хрупкость слоя за счет интенсивной диффузии азота в ϵ -фазе с поверхности в глубь матрицы сплава.

3. Однако высокие температуры азотирования разупрочняют сердцевину, т.е. приводят к уменьшению σ_{-1} . Поэтому азотирование рекомендуется проводить при температурах 500-550 °С, обеспечивающих максимальные значения σ_{-1} и минимальные коробления. Кроме того, при увеличении температуры насыщения, твердость азотированного слоя уменьшается, однако

падение ее по толщине слоя становится менее резким. Таким образом, был выбран следующий режим азотирования: температура $t=540\pm 10$ °С, время $\tau=30$ часов.

Литература

1. С. А. Герасимов, Л. И. Куксёнова, В. Г. Лантева Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 518, [2] с.: ил.

УДК 53.539.23, 53.539.25

ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ МАГНИТНОМЯГКИХ ПЛЕНОК СИСТЕМЫ Fe-Zr-N (Zr = 2.4 и 5.3 ат.%)

Дарья Дмитриевна Шкляева

Студент 4 курса ⁽¹⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.М. Жигалина

доктор ф.-м. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории электронной микроскопии ИК РАН

Пленки ферромагнитных сплавов системы Fe-Zr-N способны обеспечить сочетание высокой индукции насыщения B_s и низкой коэрцитивной силы H_c [1]. Такое фазово-структурное состояние, представленное ферромагнитной фазой на основе α -Fe, дисперсно-упрочненное нитридами ZrN, получают в пленках при их магнетронном напылении с последующим отжигом. Применение просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), позволяет визуализировать особенности тонкой структуры таких материалов [2]. В данной работе методами ПЭМ выполнены исследования фазово-структурного состояния плёнок системы Fe-Zr-N, полученных методом магнетронного напыления.

Пленки получены методом высокочастотного реактивного магнетронного распыления мишеней, представлявших собой Fe диск с равномерно распределенными по нему кусочкам Zr. Осаждение проводили в газовой атмосфере состава Ar, Ar+5%N₂ и Ar+15%N₂ на подложку из жаропрочного стекла. После напыления плёнки подвергали отжигу при температурах 400 и 600 °С в течение 1 часа для исследования их термической стабильности. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) выполнена с помощью электронного микроскопа Tesla G² 30ST при ускоряющем напряжении 300 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили в виде поперечных срезов. Для обработки и анализа изображений, полученных в электронном микроскопе, использовали программы Digital Micrograph и TIA.

Показано, что фазовый состав и структура плёнок меняются с изменением параметров магнетронного напыления и зависят от состава мишени, состава и давления газовой среды. В пленках образуется различное сочетание следующих нанокристаллических фаз: ОЦК - твёрдый раствор на основе α -Fe, ZrO₂, FeZr₂, ZrN и Fe_xN с размерами зерен от 2 до 15 нм (рис. 1, 2).

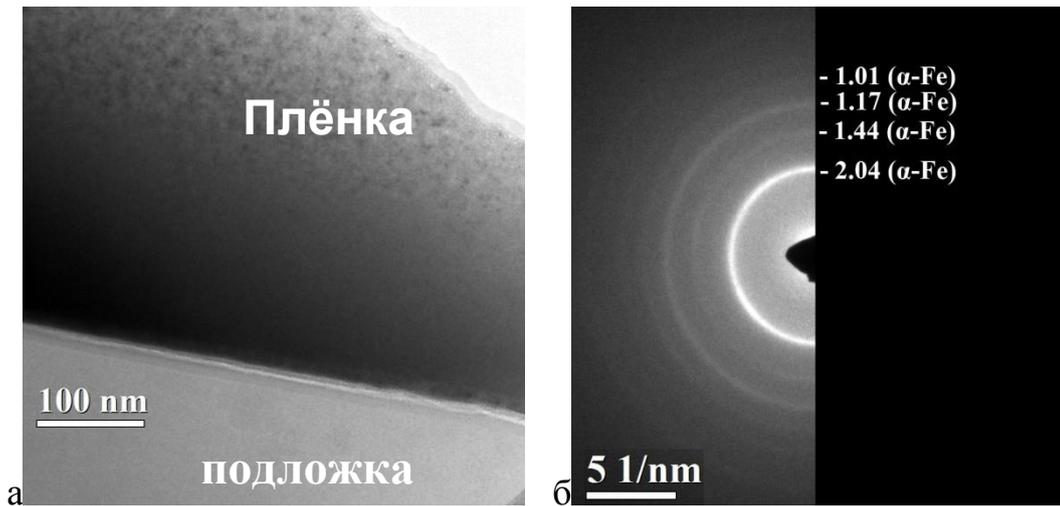


Рис.1. ПЭМ-изображение и соответствующая электронограмма (Zr=5.3 ат.%, Ar+5%N₂)

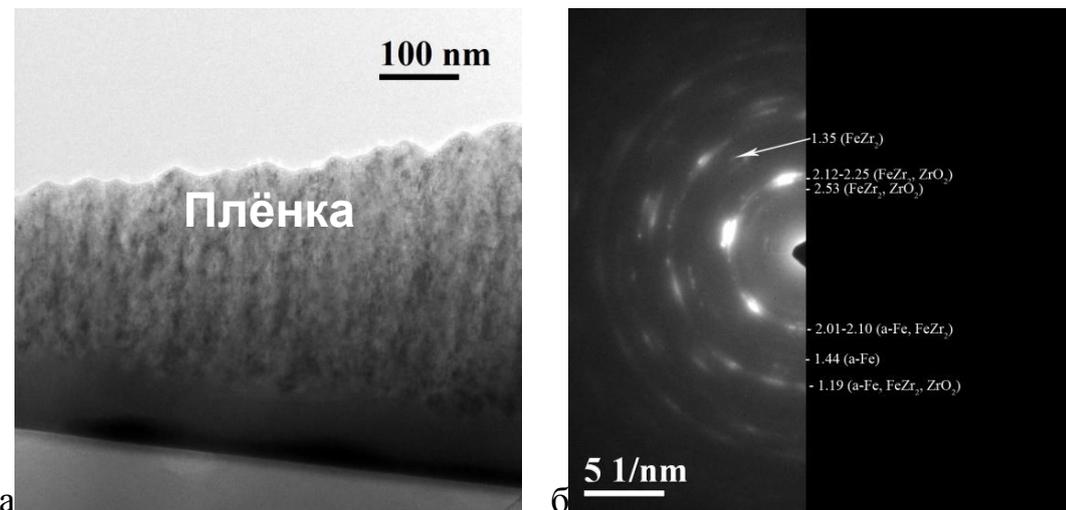


Рис.2. ПЭМ-изображение и дифракционная картина от пленки (Zr=5.3 ат.%, Ar+5%N₂)

Литература

1. Шефтель Е.Н. Магнитомягкие нанокристаллические плѐнки сплавов Fe–тугоплавкая фаза внедрения для применения в устройствах магнитной записи //Материаловедение.-2009- №4.- С.10-17.
2. Жигалина О.М., Хмеленин Д.Н., Шефтель Е.Н., Усманова Г.Ш., Ипоие М. Эволюция фазово-структурного состояния при отжиге плѐнок Fe-ZrN, полученных методом магнетронного распыления // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные, нейтронные исследования. - 2010. - №9. - С. 29–34.
3. Жигалина О.М., Хмеленин Д.Н., Шефтель Е.Н., Усманова Г.Ш., Васильев А.Л., Карлсон А. Электронная микроскопия фазово-структурных превращений в магнитомягких нанокристаллических плѐнках Fe-Zr-N // Кристаллография. – 2013- №2. - т. 58. - С. 327-336.

Секция IX

Промышленный дизайн

Председатель:

Терехова Наталья Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, член Союза дизайнеров России, заместитель заведующего кафедры «Промышленный дизайн» (МТ-9)

Ученый секретарь:

Сафин Дмитрий Юсупович

ст. преподаватель кафедры МТ-9

УДК 658.512.23

КОНСТРУКЦИЯ СОВРЕМЕННОГО МОДУЛЬНОГО СТЕЛЛАЖА

Галина Валерьевна Кулагина

Студент 6 курса

кафедра «Промышленный дизайн»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.С. Синельников,

ассистент кафедры «Промышленный дизайн»

Задачи проекта: сделать вместительный, модульный стеллаж, который не занимает много места, являясь при этом современным, функциональным, удобным в использовании, надёжным и легко трансформирующимся под задачи владельца.

Рисунок 1 и Рисунок 2 представляют полученное дизайнерское решение простого, надёжного и функционального, модульного стеллажа-трансформера, размеры которого варьируются от 500x500 мм до бесконечности, в люксовом (нержавеющая сталь) и бюджетном (дюралюминий) исполнении.

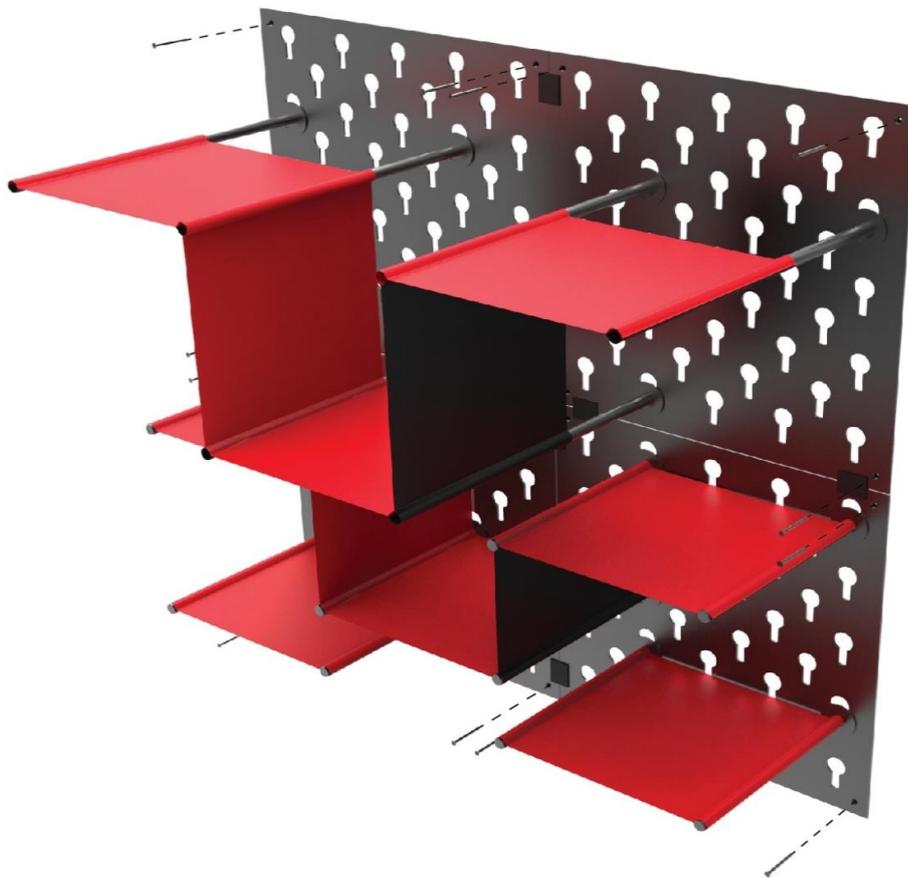


Рис. 4. Взрыв-схема конструкции модульного стеллажа-трансформера

- Несущие многосоставные панели перфорированы под прижимной механизм стержней-консоль, крепятся к стене, имея ограничители прилегания и сделаны из дюралюминия или нержавеющей стали толщиной 3 мм.
- Соединительные элементы панелей сделаны из пластика в цвет панелей или ткани.
- Стержни-консоли оснащены поворотной головой управления внутренним прижимным механизмом, стопором ткани и сделаны из дюралюминия или нержавеющей стали.
- Стекловолоконная ткань настила полок не тянется, состоит из двух разноцветных слоёв и прошита с определённым интервалом. По всей длине заднего края ткани сделаны отверстия, на каждом слое под крепления за стопор, что не позволяет ткани "сползать" со стержней - консолей.

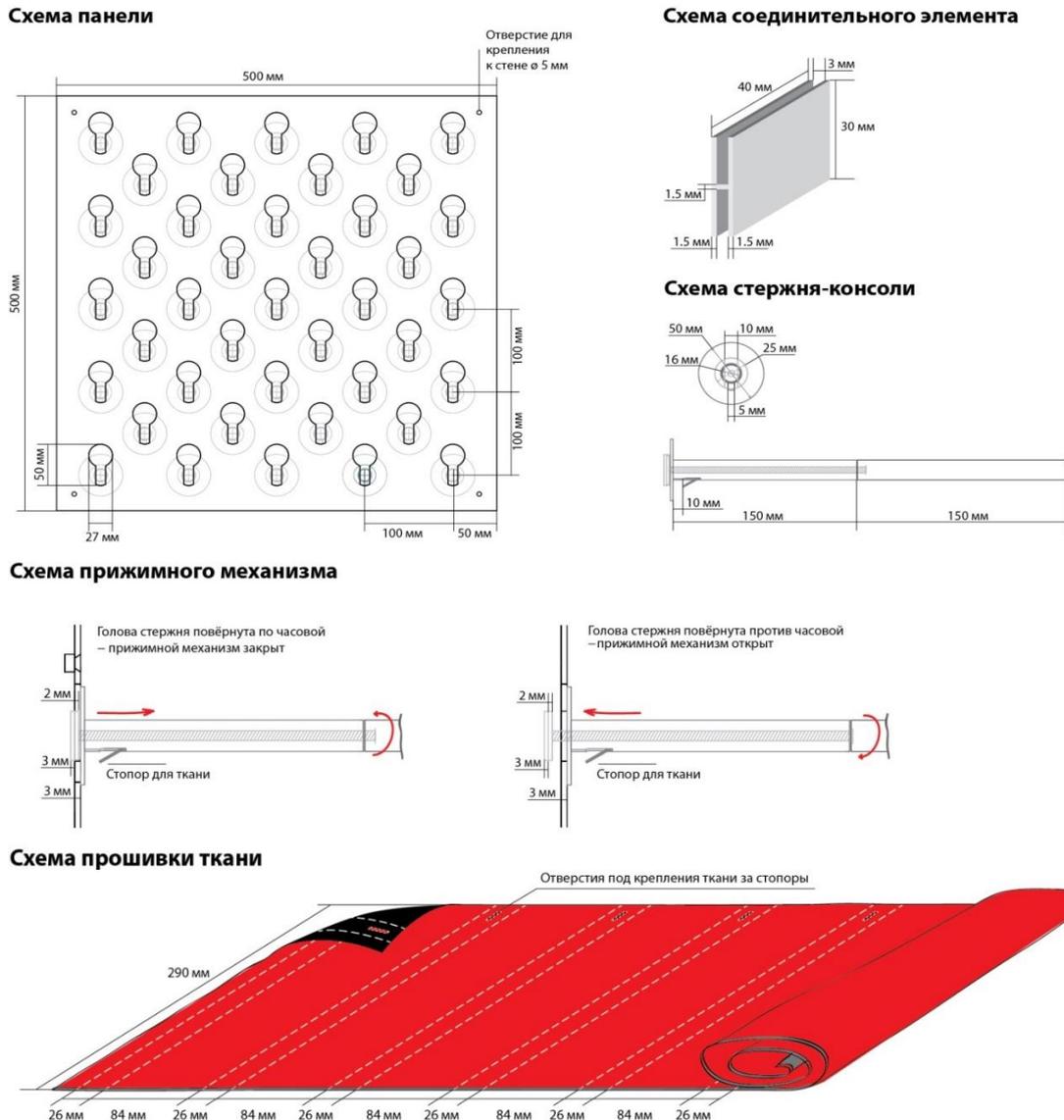


Рис. 5. Конструкция модульного стеллажа-трансформера

Представленный модульный современный стеллаж-трансформер "Организатор пространства" занимает минимальную площадь, легко и разнообразно меняет конфигурацию полок, делая доступ к хранимым предметам быстрым и удобным.

Секция X

Оборудование и технологии прокатки

Председатель:

Семенов Иван Евгеньевич

доктор технических наук, профессор кафедры
«Оборудование и технологии прокатки» (МТ-10)

Ученый секретарь:

Шинкарев Александр Сергеевич

ассистент кафедры «Оборудование и технологии
прокатки» (МТ-10)

УДК 669.019.02/09

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА СТАНА ДУО-КВАРТО 320 ХП

Рамиль Вильданович Абдряшитов

Студент 6 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мальцев

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Объектом исследования является валопровод реверсивного прокатного стана [1] дуо-кварто 320 ХП, предназначенного для холодной прокатки листов и полосы толщиной от 3...4 мм до 0,1 мм с допуском 10% и шириной 100...200 мм из прецизионных сплавов – пермаллой, пермендюр, сплавов инварного и эливарного классов на основе Fe-Ni-Co [2].

В процессе проведения экспериментов по прокатке сутунок на стане дуо-кварто 320 ХП, осуществляемой с большими обжатиями, после ударного захвата заготовки рабочими валками, на некотором участке или сразу нескольких участках валопровода могут возникнуть высокоамплитудные крутильные колебания. Если это произойдет, появляется опасность накопления усталостных повреждений в материале той или иной детали валопровода (вал шпинделя), что рано или поздно приведет к усталостному разрушению этой детали, скорее всего, в ее опасном сечении. Поэтому необходимы как теоретический расчет амплитуд и форм крутильных колебаний, так и экспериментальные исследования методом тензометрии.

Теоретический расчет выполнен на ЭВМ, для чего была построена математическая модель в среде MathCAD [2]. Дифференциальные уравнения движения крутильно-колеблющихся масс записаны на основании уравнений Лагранжа II рода. Моменты прокатки на валках заданы как экспоненциально-линейные функции времени. Решение уравнений движения найдено благодаря встроенной функции Rkadapt реализующей классический приближенный численный метод Рунге-Кутты четвертого порядка с переменным шагом интегрирования. В результате в среде MathCAD были построены компьютерные графики моментов сил упругости, от которых выполнен переход к касательным напряжениям, возникающим в опасном сечении шпинделя при его скручивании.

Для эксплуатационной диагностики крутильных колебаний, возникающих на разветвленном участке валопровода стана дуо-кварто 320 ХП, где расположены его универсальные шпиндели, оказалась вполне пригодной тензометрическая аппаратура (тензоаппаратура) контроля энергосиловых параметров (сил и моментов прокатки), давно установленная на стане дуо-160 в лаборатории кафедры МТ10 (МГТУ имени Н.Э. Баумана). Два канала этой аппаратуры настроены на косвенное измерение крутящих моментов: первый канал — на валу верхнего шпинделя, второй — на валу нижнего.

До появления персонального компьютера тензоаппаратура контроля моментов прокатки состояла из двух тензорезисторных полумостов (тензополумостов), токосъемных колец (токосъемников), тензометрического усилителя (тензоусилителя) ТА-5 и шлейфового светолучевого осциллографа Н-700 для записи аналогового сигнала в виде осциллограммы на специальную светочувствительную фотобумагу УФ-67. После приобретения стационарного персонального компьютера 4-канальный усилитель ТА-5 заменили 6-канальным измерительным блоком Ш74/1, а осциллограф Н-700 изъяли из состава тензоаппаратуры. К первому каналу измерительного блока Ш74/1 подключили через токосъемник тензомост,

спаянный из четырех тензорезисторов, наклеенных на вал верхнего шпинделя, а ко второму каналу — тензомост, спаянный из тензорезисторов, наклеенных на вал нижнего шпинделя.

Долгое время предпринимались попытки использовать в качестве АЦП обычную компьютерную звуковую карту, у которой имеются линейный и микрофонный аналоговые входы. Звуковая карта способна воспринимать и преобразовывать в цифровую форму аналоговый сигнал напряжением до 2В и частотой до 20 кГц. Существует ряд небольших и удобных программ, таких как программа Oscilloscope 2.51 для Windows, которые легко превращают персональный компьютер в виртуальный осциллограф, анализатор спектра и регистратор данных. Звуковая карта не является полноценным АЦП и не предназначена для тензометрической аппаратуры. Кроме того, звуковую карту можно случайно вывести из строя, если по неосторожности подать на ее аналоговый вход сигнал напряжением выше 2В. Поэтому для безопасного подключения двух выводов измерительной диагонали тензомоста к звуковой карте (к моменту защиты дипломного проекта) планируем изготовить самостоятельно несложный делитель напряжения с потенциометром и стабилизаторами.

Литература

1. Колесников А.Г. Технологическое оборудование прокатного производства: учебное пособие / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Мальцев. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 158 с.
2. Руководство по эксплуатации 1399100 РЭ. Стан дуо-кварто 320 холодной прокатки.
3. Мальцев А.А. Исследование динамики и прогнозирование долговечности привода прокатного стана: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 35 с.
4. Зубаль И. Компьютер в роли осциллографа, спектроанализатора, частотомера и генератора // Технический портал радиолюбителей России. http://www.cqham.ru/scope_07.htm.

УДК 621.77

РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В РОССИИ

Александр Сергеевич Бойко

Студент 3 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.О. Миронова

ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

В настоящее время с учетом сложившейся внешнеполитической ситуации в мире для устойчивого развития экономики нашей страны особенно актуальной становится проблема импортозамещения продукции не только легкой, но и тяжелой промышленности, в частности станков и оборудования.

Металлургическое машиностроение в СССР быстро развивалось в 30х годах XX века в связи с развитием металлургической промышленности.

Одновременно со строительством новых заводов реконструировались действующие предприятия, создавались технические службы, обучались кадры. К началу Великой Отечественной войны СССР располагал значительными мощностями по производству металлургического оборудования.

Сформированный в 30-80е годы производственный уклад опирался только на собственные силы. Машиностроение было ориентировано, в основном, на нужды оборонной промышленности, а также жизнеобеспечивающих инфраструктурных отраслей.

Многие предприятия дублировали друг друга, не конкурируя между собой.

Сознательно проведенное в начале 1990-х годов многократное снижение оборонного заказа и не осознанное до конца столь же многократное снижение заказов машиностроителям со стороны «естественных» монополий предопределили нехватку денежных средств у предприятий, консервацию или перепрофилирование части мощностей, а, главное, общее падение производства.

В работе представлен анализ предприятий металлургического машиностроения России и основных западных конкурентов, которые за последние годы стали лидерами в отрасли, в результате, которого выявлены причины спада конкурентоспособности российской промышленности и предложены возможные пути для улучшения сложившейся ситуации.

Все изученные отечественные предприятия и заводы способны проектировать и изготавливать традиционное оборудование для металлургического машиностроения. Однако, для выхода на новый, более высокий производственный уровень необходимо обеспечить совместную работу ведущих научно-исследовательских институтов, машиностроительных заводов и смежных с отраслью компаний для разработки новых крупномасштабных проектов.

Литература

1. http://newsruss.ru/doc/index.php/Металлургическое_машиностроение_России
2. <http://www.protown.ru/information/hidden/4486.html>
3. *Официальный сайт ОМК* -<http://оао-омк-сталь.рф/>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Высота_239
5. http://www.chelpipe.com/about/investment_projects/steel_smelting_complex/
6. *Официальный сайт* -<http://kaluga.nlmk.com/>
7. http://radiovesti.ru/article/show/article_id/99037
8. <http://www.rg.ru/2013/07/31/reg-sibfo/relsy.html>
9. *Тарнавский В.* Проблемы импортозамещения в металлургическом машиностроении. //Журнал «Металлоснабжение и сбыт», 2015г., №3, 82с.
10. *Официальный сайт ОАО «Уралмашизавод»* -<http://www.uralmash.ru/>
11. *Официальный сайт ВНИИМЕТМАШ имени академика А.И. Целикова*
<http://www.vniimetmash.ru/>
12. *Официальный сайт ОАО «ОРМЕТО-ЮУМЗ»* -<http://www.ormeto-yumz.ru/>
13. *Официальный сайт ОАО «ЭЗТМ»* -<http://www.eztm.ru/>
14. *Официальный сайт ОАО «КО ВНИИМЕТМАШ»* -<http://metmash.severstal.com/rus/>
15. *Официальный сайт ОАО «СИБЭЛЕКТРОТЕРМ»* -<http://www.sibelectrotherm.ru/>

УДК 621.771.295

ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОЦЕССА И СТАНОВ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ВИНТОВЫХ ЗАГОТОВОК РОТОРНЫХ ВАЛОВ

Константин Алексеевич Васильев

Студент 3 курса

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»

Одним из перспективных направлений развития прокатного производства являются различные технологии поперечной и винтовой прокатки на деталепрокатных станах. Они позволяют получать изделия, форма и размеры которых максимально приближены к готовым деталям. В ряде случаев прокатываемые изделия не требуют дополнительной механической обработки.

Роторные валы являются основной деталью винтовых компрессоров и холодильных машин, приобретающих большие перспективы в компрессорном и холодильном машиностроении. Отечественные заводы осваивают серийное производство этих машин, интенсивно растет их выпуск за рубежом. Вместе с тем, широкому распространению винтовых машин препятствует высокая трудоемкость изготовления винтового профиля роторов, базирующаяся на фрезеровании.

Делались попытки применить для получения винтового профиля роторов различные методы. Однако все они имели те или иные недостатки, из-за которых не получили промышленного применения.

Во ВНИИМЕТМАШе предложено использовать для получения винтового профиля роторных валов метод поперечно-винтовой прокатки.

Однако, созданное прокатное оборудование и накопленный опыт прокатки крупных изделий с винтовой поверхностью сложной формы, были недостаточными для осуществления процесса прокатки роторных валов в промышленных условиях.

Целью настоящей работы является решение проблемы прокатки винтового профиля роторных валов с припуском на чистовую обработку фрезерованием.

В результате выполненной работы впервые в Советском Союзе и впервые в мировой практике освоено производство роторных валов с применением прокатки их винтового профиля вместо черновой обработки фрезерованием.

В данной работе рассмотрены особенности геометрии винтовых роторов, проводится анализ существующих способов прокатки изделий с винтовой поверхностью и выбор наиболее предпочтительного способа прокатки. Также рассматривается экспериментальное опробование схем прокатки винтового профиля роторов на трехвалковом стане для поперечной прокатки червячных валов конструкции ВНИИМЕТМАШа и выбор промышленного способа.

Литература

1. Глух Н. М. Исследование, разработка и внедрение процесса и станов поперечно-винтовой горячей прокатки винтовых заготовок роторных валов – 1980 – С. 4-42
2. Дрозд В. Г., Сивак Б. А., Протасов А. В. ВНИИМЕТМАШ и металлургическое машиностроение // Москва Наука. – 2009. – С. 347-370.

УДК 621.774.21

ТИПЫ КАЛИБРОВКИ ИНСТРУМЕНТОВ ФОРМОВОЧНЫХ СТАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ

Александр Юрьевич Елин

Студент 5 курса

Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Соколова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

В настоящее время производство стальных труб в мире непрерывно возрастает. Электросварные прямошовные трубы по многим качественным показателям не уступают бесшовным.

Для изготовления труб различного сортамента из различных материалов служат трубоэлектросварочные агрегаты. Каждый такой агрегат — огромный комплекс оборудования, включающий в себя, кроме линии самого стана, большой объем трубоотделки. Непрерывный трубоформовочный стан состоит из ряда установленных друг за другом валковых клетей. В станах разных типоразмеров расположено от 6 до 12 горизонтальных приводных клетей и между ними некоторое количество вертикальных неприводных клетей.

Важнейшим процессом в производстве сварных труб является формовка трубной заготовки. Стадии формовки на непрерывных валковых станах определяются выбранным характером и последовательностью изгиба полосы, учитывающими механические свойства металла, размеры заготовки, скорость формовки, требования к качеству сварного шва и другие факторы, обеспечивающие технологичность процесса и минимальные напряжения в полосе.

В настоящее время применяют большое количество калибровок формирующих валков, в связи с чем на однотипных станах для одинаковых размеров труб формовочные валки имеют различные габаритные размеры и форму рабочего ручья. Все разнообразие калибровок формовочных станом можно определить различными комбинациями шести основных типов (однорядная калибровка, двухрядная калибровка, формовка заготовки с подгибкой кромок и др.).

Такие калибровки были изобретены уже несколько десятков лет назад. Существуют рекомендации по выбору одной из калибровок, которая будет наиболее подходящей для производства определенного типоразмера труб из стали определенного класса прочности. Современный рынок требует трубную продукцию различного сортамента, из различных материалов. Данная потребность связана с развитием многих отраслей промышленности, поэтому заводам-изготовителям необходимо искать новые методы формовки трубной заготовки, которые возможно реализовать на существующем оборудовании без потери качества готовой продукции.

Примером калибровки, подходящей для формовки заготовки из сталей повышенной прочности, может служить «W-образная» калибровка. Использование такой калибровки позволяет изготавливать трубы с большей толщиной стенки и из материалов с более высокими прочностными показателями, чем при использовании стандартных калибровок. «W-образная» калибровка широко используется в трубной промышленности за рубежом, где она успела себя хорошо зарекомендовать.

Литература

1. *Официальный сайт: «Roll-Kraft»* <http://www.roll-kraft.com/>

2. *Матвеев Ю.М., Ружинский М.Б., Ромашов А.А., Халамез Е.М.* Технология производства электросварных труб, - М Металлургия, 1967. – 400 с.

УДК 53.084.823

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Сергей Александрович Жуков

Студент 4 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»

Непрерывная горячая прокатка - основной способ получения металлопродукции: листов, сорта, катанки и т. д. При этом обеспечиваются наиболее полное использование ресурса пластичности материала, высокие скорости прокатки и возможность полной автоматизации процесса, что благоприятствует росту производительности.

Как правило, процесс прокатки всегда многоступенчатый, т. е. между пропусками металла через валки имеются паузы, длительность которых обуславливается технологическим режимом прокатки. Процесс производства отдельных видов продукции на непрерывных прокатных станах характеризуется высокими скоростями прокатки (свыше 40 м/с), что вызывает уменьшение междеформационных пауз, существенное нарастание деформационного упрочнения, и, как следствие, приводит к увеличению сопротивления деформации.

Важно знать величину сопротивления деформации, т. к. она влияет на контактное давление металла на валки, а значит и на усилие прокатки. Существуют различные методы определения сопротивления деформации:

1. Метод определения по кривым Кука и Динника
2. Метод термомеханических коэффициентов
3. Метод базисного давления
4. Метод Никитина-Зуева (каф. МТ-10)

В данной работе рассмотрено определение сопротивления деформации с использованием вышеперечисленных методов. Проведен анализ и сравнение полученных результатов.

Литература

1. *Никитин Г. С.* Теория непрерывной продольной прокатки: учеб. пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 399 с.
2. *Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С.* Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

УДК 669.621.771

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

Малика Анваровна Кудратова

Студентка 4 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»

Магнитные экраны используются для защиты от влияния магнитного поля на чувствительные элементы электронной техники, а также на биологические объекты и применяются в различных отраслях промышленности, таких как строительство, электроника, энергетика, медицина. Магнитные экраны изготавливаются из полос с заданными физическими свойствами, к качеству которых производители предъявляют жесткие требования. Следовательно, чтобы продукция была конкурентоспособна на рынке, требуется разработка новых технологий производства, а также совершенствование оборудования.

Целью работы является разработка современной технологии производства тонких стальных полос для магнитных экранов из стали 08Ю толщинами 0,100...0,250 мм и шириной от 200 мм до 1500 мм для последующего технического проектирования специализированного стана холодной прокатки.

Ключевой качественной характеристикой тонких стальных обезуглероженных полос с заданными свойствами для магнитных экранов различного назначения является коэрцитивная сила и магнитная проницаемость. Величина этих характеристик определяется технологическими параметрами процесса прокатки и термообработки, а именно суммарной степенью деформации и режимом отжига.

В статье были рассмотрены известные технологии получения холоднокатаных полос для производства магнитных экранов на многовалковых и непрерывных станах, и на основе проведенного анализа разработаны режимы прокатки полос со специальными физическими свойствами толщиной 0,230 мм и шириной 1350 мм на одноклетьевом реверсивном стане кварты 1400. Разработанные режимы способны обеспечить заданное качество в соответствии с запросами потребителя.

Основные элементы технологии производства представлены на рисунке 1. Для прокатки применяется вновь проектируемый реверсивный одноклетевой прокатный стан, подкатом для которого являются травленые горячекатаные полосы, которые подвергаются холодной прокатке с промежуточным обезуглероживающим отжигом, с последующим рекристаллизационным отжигом и дрессировкой.

Отличительные особенности технологии заключаются в том, что обезуглероживающий отжиг проводится при температуре 630-720 °С с выдержкой при этой температуре в течении 7-12 часов, а первую и вторую прокатку проводят с суммарным обжатием 33-75 %, дрессировку ведут с обжатием 1,5 % [1].



Рис. 1. Разработанная технология производства полос для магнитных экранов

Данная технология производства полос со специальными физическими свойствами и параметрами микрощероховатости поверхности обеспечивает получение продукции коммерческого качества для каждого отдельного потребителя.

Литература

1. Шестаков А.В. Исследование и разработка технологии производства тонких стальных полос с заданными свойствами. // Автореферат - 2013, Т.100. - С. 26.
2. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). -М.: ОАО "Черметинформация", 2004. – С. 32-38.
3. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. - М.: Metallurgy, 1994. - 651 с.
4. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. Теория прокатки. Справочник. - М.: Metallurgy, 1982. - 335 с.

УДК 621.771

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВЕРХТОНКОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ

Юрий Михайлович Куренков

Студент 4 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Мунтин

кандидат технических наук, главный специалист по рулонному прокату ОАО "ВМЗ"

Развитие авиации, автомобилестроения, приборостроения, энергетического машиностроения, повышение эффективности линий по штамповке изделий из рулонной листовой стали, в том числе, с глубокой вытяжкой, а также рост выпуска кровельных материалов и необходимость улучшения качества товаров народного потребления (легковых автомобилей, холодильников, стиральных машин и др.) требует производства планшетных полос, лент, листов и фольги. Новые технологии горячей прокатки и оборудование дают возможность достигать качества поверхности, стабильности толщины и формы профиля, которые позволяют этой продукции конкурировать с холоднокатаной полосой в ряде отраслей. Решающим фактором является конкурентоспособность в части себестоимости такой

продукции. Так как нет дополнительного передела, т.е. холодной прокатки, себестоимость конечной продукции снижается, но вместе с тем важно обеспечить стабильный процесс прокатки и качество тонкой горячекатаной полосы.

Однако при горячей прокатке полосы высокое качество, как правило, гарантируется при толщине полосы не менее 1,5 мм. При попытке получить более тонкую полосу возникают проблемы с качеством поверхности, планшетностью, соблюдением скоростных и температурных параметров производства, стабильностью процесса прокатки. К тому же, при скоростях прокатки более 15 м/с у полос толщиной порядка 1 мм при транспортировке по отводящему рольгангу к моталке происходит нерегулируемый подъем (планирование) переднего конца. Таким образом, совершенствование технологии и оборудования, обеспечивающих производство качественной полосы толщиной менее 1,5 мм в условиях широкополосных станов горячей прокатки, является актуальной задачей.

В части оборудования необходимо отметить последовательные изменения от традиционных станов непрерывной горячей прокатки до литейно-прокатных комплексов, в том числе комплексов по прокатке бесконечной полосы. Также при производстве тонких полос большое значение имеет использование профилированных валков, противоизгибов рабочих и опорных валков. С точки зрения технологии необходимо осуществить правильный выбор частных обжатий при прокатке, точный расчёт энергосиловых параметров прокатки, скоростей и температур.

Современное оборудование и технологии позволяют получать качественную горячекатаную полосу минимальной толщиной 0,77 мм. Такая полоса может конкурировать с холоднокатаной в определённом марочном и размерном сортаменте, выигрывая у неё по себестоимости. Однако существует ряд технологических трудностей, в первую очередь связанных с обеспечением планшетности полосы и стабильности процесса прокатки. С точки зрения совершенствования оборудования пройден путь от традиционных непрерывных и полунепрерывных широкополосных прокатных станов до литейно-прокатных комплексов по прокатке бесконечной полосы. С точки зрения технологии необходимо осуществлять научно-обоснованный выбор частных обжатий при прокатке, температурных режимов, изгибов и профилировки валков.

Литература

1. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке // Издательство «Теплотехник». 2008. С 5-13.
2. <http://www.metalspace.ru/>
3. <http://www.siemens-vai.com/>
4. <http://tekhnosfera.com/>
5. <http://www.imet.ac.ru/linkpics/News/tarasov.pdf>
6. Кожеевникова И.А, Автореферат «Разработка, теоретическое обоснование, исследование и внедрение эффективных технологий прокатки особо тонких полос». 2012
7. Степанов А. П., Миронова М. О. Анализ энергосиловых параметров процесса прокатки толстых листов на стане 5000. «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.

УДК 621.771:699-122.2

**ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ПРОКАТКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕДИ И ЛАТУНИ**Алексей Сергеевич Лукаш⁽¹⁾, Александр Алексеевич Агафонов⁽²⁾, Евгений Васильевич Русинов⁽³⁾*Аспирант 3 года обучения⁽¹⁾, студент 3 курса⁽²⁾⁽³⁾**Кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»**Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)**Научный руководитель: Роман Львович Шаталов**доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением»*

Одним из важнейших управляемых параметров, определяющих процесс деформации при прокатке полос, является внешнее трение между валками и деформируемым металлом или сплавом. Наличие трения и величина сил трения определяют захватывающую способность валков, в том числе и при тонколистовой прокатке, и при установившемся процессе влияют на степень деформации по толщине и уширение металла при прокатке. Силы внешнего трения, требуя дополнительной работы на их преодоление, вызывают повышение сопротивления и энергии деформации. Следовательно, изменение коэффициента и сил трения, в частности, за счет смазки валков, позволяет влиять на усилия прокатки.

Поэтому исследование влияния условий контактного трения на усилие проката тонких полос из меди МЗ и латуни Л63, известного химического состава, полученных с Кировского и Кольчугинского заводов ОЦМ, на двухвалковом лабораторном стане 150x235 является актуальной задачей.

Эксперимент проводили на лабораторном двухвалковом стане 150x235, оснащенный микропроцессорной системой контроля усилий проката в лаборатории кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением» Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ). Химический состав определялся в лаборатории НИТУ «МИСиС» (рентгеновская флуоресцентная спектрометрия). В результате были уточнены химические составы марок металлов и сплавов опытных образцов: медь МЗ – 99,53% Cu, латунь Л63 – 62,6% Cu, 34,5% Zn, соответствующие ГОСТ 859-2001 и ГОСТ 15527-2004.

После настройки стана на зазор между валками $S_0=1,14$ мм прокатали со скоростью 0,271 м/с 15 образцов полос длиной около 200 мм из меди МЗ: по 5 полос в сухих валках, по 5 полос со смазкой эмульсией (5%) и по 5 полос со смазкой керосином.

После настройки стана на зазор между валками $S_0=1,55$ мм прокатали 15 полос из латуни Л63: 5 полос в сухих валках, тщательно протертых ацетоном, 5 полос со смазкой эмульсией (5%), 5 полос со смазкой керосином.

До и после прокатки измерили толщину полос по длине в пяти точках точечным контактным ручным микрометром с часовой головкой с точностью $\pm 0,001$ мм и ширину полос штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм. В процессе прокатки полос автоматически измеряли усилия прокатки по длине полосы с точностью $\pm 0,1$ КН, с использованием установленной на стане микропроцессорной системы контроля сил прокатки.

Установлено положительное влияние уменьшения коэффициента контактного трения, соответствующего опытным смазкам, на усилие прокатки на стане 150x235 при деформации ($l_d/h_{cp} > 3$) полос из заготовок промышленных партий меди МЗ и латуни Л63 конкретного химического состава. Наиболее эффективно применение смазок при прокатке медных полос,

позволяющее уменьшить усилие прокатки на 20-21% по сравнению с деформацией в сухих валках.

Экспериментально определено, что применение смазок при прокатке медных и латунных (Л63) полос увеличивает степень деформации на 2,0-2,5% и уменьшает толщину металла на выходе из стана примерно на 3%. Поэтому изменение условий контактного трения необходимо учитывать при настройке стана на прокатку полос заданной толщины.

Литература

1. *Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т.* Трение и смазки при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
2. *Зиновьев А.В., Колпашиников А.И., Полухин П.И.* и др. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
3. *Шаталов Р.Л., Лукаш А.С., Зисельман В.Л.* Определение механических свойств медных и латунных полос по показателям твердости при холодной прокатке. // Цветные металлы, 2014, №5, – С. 61-65
4. *Шаталов Р.Л., Лукаш А.С., Луговской В.М.* Компьютерное моделирование и проектирование процесса непрерывной прокатки полос. // Сборник докладов междунауч. науч.-техн. конф. «Инновационные технологии обработки металлов давлением». – М.: МИСИС, 2011. – С. 232-236

УДК 669.013

НЛМК: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Оксана Александровна Мельникова

Студентка 5 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: П.Ю. Жихарев

ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Компания НЛМК является ведущим поставщиком слябов и трансформаторной стали в мире и крупнейшим российским поставщиком продукции с высокой добавленной стоимостью, включая прокат с полимерным покрытием, оцинкованную и электротехническую сталь, а также сортовую металлопродукцию. Продукция Компании применяется в строительстве, автомобилестроении, судостроении, при производстве металлических конструкций и в других областях промышленности.

НЛМК располагает современными производственными мощностями, которые по уровню технологичности не уступают ведущим западным производителям. В составе совместных предприятий, НЛМК владеет 9 прокатными активами в Европе и США, поставляя свою продукцию в более чем 70 стран мира.

Основная производственная площадка компании находится в Липецке, в центре Европейской части России, и расположена в пределах 350 км от Стойленского ГОКа, основного поставщика железорудного сырья, а также в непосредственной близости от основных российских потребителей и ключевых транспортных путей. В Липецке представлено около 80% общей сталелитейной мощности, где сталь производят конверторным способом.

Новолипецкий металлургический комбинат является предприятием с полным металлургическим циклом, а это значит, что на промышленной площадке комбината

располагаются все производства, необходимые для того, чтобы железная руда, пройдя все технологические этапы, превратилась в конечный продукт – холоднокатаный прокат, в том числе и с покрытиями.

Общая схема включает следующие переделы:

- Агломерационное производство с четырьмя агломашинами;
- Коксохимическое производство с четырьмя батареями, оборудованными установками беспылевой выдачи кокса;
- Доменное производство, представленное двумя доменными цехами с шестью доменными печами;
- Сталеплавильное производство, представленное двумя конверторными цехами, в состав которых входят шесть конверторов и девять установок непрерывной разливки стали;
- Прокатное производство, представленное цехом горячего проката с непрерывным широкополосным станом горячей прокатки 2000 и тремя цехами холодной прокатки, в состав которых входят два двадцативалковых стана, реверсивный стан, один непрерывный стан, полностью непрерывный стан «бесконечной прокатки».

ОАО «НЛМК» является современной динамично развивающейся компанией. Руководством комбината уделяется большое внимание внедрению новейших технологий и подготовке персонала. ОАО «НЛМК» активно сотрудничает с крупнейшими ВУЗами страны, в том числе с МГТУ имени Н.Э. Баумана, организовывая практики для студентов и предлагая дальнейшее трудоустройство.

Литература

1. Официальный сайт: ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» - www.nlmk.com
2. ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», Управление профессионального развития персонала. – Липецк: ООО «Новолипецкий печатный дом», 2013 г.

УДК 621.771.28

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ФОРМОВОЧНЫХ СТАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ

Андрей Анатольевич Моисеев

Студент 3 курса

Кафедра «Технологии и оборудование прокатки»

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Соколова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование прокатки»

Рассмотрены современные способы формообразования трубных заготовок методом непрерывной валковой формовки. Представлены конструктивные и принципиальные различия между устройствами «классических», модернизированных на их базе, а также новых станом непрерывной формовки.

В большинстве случаев предприятия используют старое оборудование, формовочные клетки которого представляют собой пару валков необходимой для деформации штрипса формы, расположенные в пространстве станины.

Конструкция формовочных клеток закрытого типа аналогична конструкции клеток открытого типа. Отличие составляет лишь дополнительная пара рабочего инструмента. В результате калибр состоит из четырех формующих валков.

Конструкция клетей, описанных выше, широко распространена ввиду ее простоты, поэтому систему подобной этой принято считать «классической». Использование оборудования данного типа позволяет массово производить трубную продукцию с редкими остановками для перевалки и установки нового комплекта валков при переходе на производство другого типоразмера.

На сегодняшний день, в условиях, когда год от года растет спрос на трубы различного сортамента, что связано с развитием различных отраслей промышленности, требуется увеличение не только производительности трубных станов, но и их маневренности, то есть способности быстро перенастраиваться с одного размера труб на другой, с одного материала заготовки на другой. Однако, многие трубоэлектросварочные агрегаты (ТЭСА), построенные еще в прошлом тысячелетии, не рассчитаны на производство большого объема прямошовных электросварных труб различного типоразмера. Поэтому значительная часть существующих ТЭСА подлежат модернизации и реконструкции. Так же, следует отметить, что с ростом спроса на производство труб нефтегазового сортамента, повышаются и требования, предъявляемые к данному виду продукции металлургических предприятий. В основном это касается увеличения толщины стенки трубы, а также использование материалов с повышенными механическими свойствами.

На «классических» станах производится модернизация оборудования с использованием эджерных и кромкогибочных клетей, введение которых отличается малой стоимостью и простотой. Данная модернизация рассмотрена на стане ТЭСА 159-529, установленном в Новомосковске. Использование кромкогибочных клетей совместно с классическими формовочными клетями позволило бы существенно сократить число пар валкового инструмента, а также исключить перевалки на комплексе оборудования, когда производимый типоразмер не меняется, меняются лишь свойства материала, путем использования регулирования положения валков в кромкогибочной клетке. Наличие данной возможности позволяет корректировать поведение трубной заготовки в очаге деформации, не прибегая к замене валкового инструмента на основных клетях формовочного стана.

Тенденции современного рынка трубосварочной продукции обязывает заводы-производители расширять размерный ряд производимой продукции. Потребителю зачастую необходима ограниченная партия труб. Данная ситуация вынуждает искать пути перехода существующего оборудования, предназначенное на массовый выпуск труб, на серийное производство продукции. В связи с этим с каждым новым днем большую популярность получает технология гибкой формовки по названию Cage Forming.

Данная технология позволяет перейти с одного типоразмера на другой в считанные минуты, используя средства управления положением валкового инструмента. Время же перевалки и настройки стана «классической» конструкции занимает более 8 часов на мелкосортных трубных станах и более 48 часов на комплексе оборудования для производства труб среднего и большого диаметров.

На сегодняшний день в мире существует три компании, которые реализуют технологию Cage Forming в конструкциях трубоэлектросварочных комплексов: Olimpia'80 (Италия), НАКАТА (Япония) и SMS Meer (Германия).

Технология универсальной формовки с изменяющейся конфигурацией валков открывает новую эру в производстве сварных труб.

Литература

1. Колесников А.Г., Соколова О.В., Скрипкин А.Ю., Лепестов А.Е. Новый взгляд на модернизацию трубоэлектросварочных агрегатов для производства прямошовных сварных труб. МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия.2009г.
2. Соколова О.В., Лепестов А.Е. Формообразование трубных профилей, Москва, электронное научно-техническое издание «Наука и образование», №7, июль 2010г.

УДК 672

КОНЦЕРН БРАТЬЕВ МАННЕСМАНН

Петр Петрович Плотников

Студент 3 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»

Технология создания бесшовных стальных труб с помощью пилигримовых станов была разработана братьями Маннесманн в 1881 году. Они смогли получить первую бесшовную трубу, а затем и патент на пилигримовый стан.

Процесс заключался в прохождении круглой болванкой между двумя косо поставленными друг к другу валками, из-за особой формы валков и их расположения заготовка ввинчивалась в пространство между ними, после прохождения через валки заготовка насаживалась на оправку, которая придавала образовавшейся внутренней полости правильное круглое сечение. Цикл такой прокатки включал два этапа - рабочий и холостой. Во время рабочего этапа труба, с введенной в нее оправкой, захватывалась и обжималась до нужного диаметра. Холостой этап заключался в увеличении калибра и завершении обработки участка трубы, после чего заготовка продвигалась вперед и поворачивалась вокруг своей оси на 90 градусов для более равномерной отделки. Цикл повторялся на последующих участках трубы. Таким образом 21 августа 1886 года была получена первая в мире бесшовная труба.

После получения патентов в Германии и ряде других стран (этим вопросом занимался второй по старшинству брат Макс) дело у Маннесманнов в Германии не заладилось из-за финансовых проблем. После обнаружения значительного количества забракованных труб им перестали выдавать кредиты и их фирму пришлось ликвидировать, а производство перешло под контроль акционерной компании.

После неудачи с трубами братья Отто и Макс изобрели висячую газовую лампу, превосходящую другие лампы по многим характеристикам: она была более яркой, служила дольше других ламп того времени и потребляла на 60% меньше газа.

Братья Рейнхард и Альфред в то время отправились в Африку. И решили использовать Марокко в качестве "кладовой" германской тяжелой промышленности, ввиду необъятных богатств земных недр этой маленькой страны. В дальнейшем компания "Marocko-Mannesmann-Kompanie" завладела 2 тыс. рудных концессий.

Братья так же получили патенты в области телефонии, цементации стали и производства напильников. Производили грузовики, легковые автомобили и мотоплуги. Их фирма в поставляла вооружение для германской армии во время второй мировой войны.

Литература

1. Одиссея братьев Маннесманн / Б. Лоповок // Изобретатель и рационализатор. - 2001. - № 9. - С. 22-23

УДК 621.771.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМИРОВАНИЯ И НАГРЕВА МНОГОСЛОЙНЫХ СТАЛЬНЫХ ПАКЕТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Эльмар Агакишиевич Салманов⁽¹⁾, Сергей Дмитриевич Скачков⁽²⁾

Студент 3 курса^{(1), (2)}

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Шинкарёв

ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

С ростом потребности в материалах с повышенными свойствами в промышленности возникает потребность в усовершенствовании методов прокатки материалов с ультрамелкозернистой структурой, в том числе многослойных листовых сталей.

Подготовка прокатываемых заготовок сильно влияет на качество получаемых материалов. Основной задачей для получения высококачественного материала, является очистка контактных поверхностей от вредных примесей и газов, а так же предотвращение загрязнений.

В этой работе исследуются процессы вакуумирования и нагрева многослойных материалов стальных пакетов для получения листовых материалов с ультрамелкозернистой структурой. Изучалось влияние температуры на степень вакуума при одновременном нагревании и вакуумировании заготовки на этапе подготовки исходных материалов перед прокаткой. Этот комбинированный метод наглядно показывает как влияет температура нагревания на качество процесса вакуумирования. Для получения высококачественного материала с прочным соединением слоев металлической композиции и ультрамелкозернистой структурой при горячей пакетной прокатке, необходимо зачистить контактную поверхность, а так же необходимо избавиться от вредных газов выделяющиеся при горячей прокатке. Данные выводы экспериментально были подтверждены. Для визуального наблюдения за распределением температуры на поверхности капсул использовали Тепловизор Optis, модификации "PI"; для измерения степени вакуума использовался вакуумметр термодарный ВИТ-2П.

Литература

1. Колесников А. Г., Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – №1. С. 42-43
2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ. – 2010. – № 6. С. 44-49
3. Арюлин С.Б., Халипов И.В. Получение многослойных композиционных материалов методом горячей прокатки // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 7. С. 31-35.
4. Прокатка стального многослойного материала / Колесников А. Г., Плохих А. И., Шинкарёв А. С., Миронова М. О // Заготовительные производства в машиностроении. – 2013. – № 8. – С. 39-42.

УДК 669.019.02/09

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВАЛА ШПИНДЕЛЯ СТАНА ДУО-КВАРТО 320 ХП

Алексей Олегович Соколов

Студент 6 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Мальцев

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Технологическое оборудование прокатного стана дуо-кварто 320 ХП включает в себя рабочую клеть дуо-кварто вместе с ее электроприводом (основное оборудование) и вспомогательное оборудование — рольганг, правую и левую моталки консольного типа со своими электроприводами, ножницы продольной и поперечной резки, сварочный аппарат, правильную машину [1].

В состав электропривода клетки дуо-кварто (главного электропривода) входят два универсальных шпинделя — верхний и нижний. Результаты математического моделирования крутильных колебаний (MathCAD-графики) показали, что валы шпинделей испытывают циклические нагрузки в процессе прокатки заготовок из высоколегированных прецизионных сплавов. То есть в процессе проведения экспериментов по прокатке сутунок на стане дуо-кварто 320 ХП, осуществляемой с большими обжатиями, после ударного захвата заготовки рабочими валками, на некотором участке или сразу нескольких участках валопровода могут возникнуть высокоамплитудные крутильные колебания.

Если это произойдет, появляется опасность накопления усталостных повреждений в материале той или иной детали валопровода, например, в металле вала шпинделя, что рано или поздно приведет к усталостному разрушению вала, скорее всего, в его опасном сечении. Поэтому необходимо на основании теоретического расчета амплитуд и форм крутильных колебаний [2, 3] или на основании экспериментального исследования этих колебаний методом тензометрии.

Для извлечения из анализируемого процесса (MathCAD-графиков) информации, необходимой для оценки уровня нагруженности, широко используют методы, основанные на замене реального случайного процесса нагружения некоторым схематизированным процессом, который по уровню накопленного в детали усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному процессу.

MathCAD-графики обработаны согласно ГОСТу 25.101-83 «Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов». Схематизация включает «предварительную подготовку процесса нагружения к схематизации; дискретизацию процесса нагружения; вычисление статистических характеристик последовательности ординат процесса нагружения; выделение экстремумов процесса нагружения; замену реального процесса нагружения схематизированным по выбранному методу схематизации; определение эмпирических распределений нагрузок схематизированного процесса и вычисление основных статистических характеристик распределений». Нами была использована двухпараметрическая систематизация нагрузочного режима методом укрупненных размахов, где параметрами являются амплитудное напряжение цикла τ_α и среднее значение цикла τ_m , взятые из графиков нагружения. Метод укрупненных размахов предпочтительнее, чем обыкновенный метод

размахов, который приводит к схематизированному процессу с меньшим повреждающим действием, чем реальный процесс.

Расчет долговечности выполнен по формуле Когаева-Серенсена на основании линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений. Параметры, входящие в формулу Серенсена-Когаева, имеют рассеяние и рассматриваются как случайные величины, т.е. долговечность рассчитывается в вероятностном плане. Согласно методу Монте-Карло, для разыгрывания некоторой случайной величины X , равномерно распределенной в интервале $[X_1, X_2]$, используется выражение $X = X_1 + X_{[0,1]}(X_2 - X_1)$, где $X_{[0,1]}$ — задаваемая генератором случайных чисел некоторая величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Внезапный выход из строя шпинделя прокатного стана при эксплуатации часто приводит к гораздо большим материальным затратам, чем заблаговременная замена шпинделя по причине выработки им ресурса, что делает актуальной задачу прогнозирования его усталостной долговечности.

Литература

1. Колесников А.Г. Технологическое оборудование прокатного производства: учебное пособие / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Мальцев. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 158 с.
2. Даява Н. Н. Расчет крутильных колебаний в линии привода прокатного стана 280 ОАО «РМЗ». [\[Электронный ресурс\]](#) //Вторая Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2009: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Электрон. дан. – М.: МГТУ, 2009. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: ПЭВМ, ОС Windows.
3. Мальцев А.А. Исследование динамики и прогнозирование долговечности привода прокатного стана: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 35 с.

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОКАТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ НА СТАНЕ 5000 АО «ВЫКСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Андрей Павлович Степанов

Студент 4 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»

Введение

На протяжении ряда лет потребителями биметаллических материалов являются предприятия химического, нефтяного и энергетического машиностроения. Данный материал состоит из двух и более слоев разнородных металлов или сплавов (например, сталь и алюминий, сталь и ниобий, алюминий и титан, титан и молибден и др.). Основными его преимуществами являются прочная основа и коррозионностойкий плакирующий слой, но к ним добавилось еще надежное соединение слоев. С точки зрения технологичности, теперь можно считать биметаллический материал как коррозионно-стойкий «монометалл», восприимчивый к

любым деформационным нагрузкам в технологических переделах без разделения слоев: прокатку, гибку, резку, формовку, сварку и др. Сравнивая изделия из биметаллов и изделия из углеродистых и низколегированных сталей, можно отметить, что долговечность биметаллической продукции выше.

Заказчиками двухслойного коррозионностойкого проката являются крупнейшие предприятия машиностроения, в том числе ОАО «Пензхиммаш», ОАО «Атоммаш», «Ленинградский металлический завод» и др. На протяжении ряда лет успешно эксплуатируется оборудование, изготовленное из биметаллических материалов. Трубопровод из биметаллических труб диаметром 325 мм и протяженностью более 25 км успешно эксплуатируется в ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» в суровых климатических условиях и средах повышенной агрессивности [1].

Обзор способов плакирования

Все способы производства плакированных материалов состоит в основном из двух стадий: изготовление биметаллической заготовки и дальнейшая ее обработка давлением с целью получения готового биметаллического листа.

Распространены следующие способы получения плакированных металлов:

4. *Комбинированное литье.* В изложницу устанавливают перфорированные разделительные листы, затем из двух ковшей синхронно разливают разные стали, при этом контролируя равенство высот. Далее происходит процесс прокатки (получения) плакированных листов.

5. *Комбинацией твердого металла с жидким.* В специальную изложницу закладывают и фиксируют твердые металлические плиты, а затем вокруг нее заливают жидкий металл с другим химическим составом. Соединение слоев происходит только во время прокатки.

6. *Способ пакетной прокатки.* Предварительно листы герметично собираются в многослойные пакеты. Далее он нагревается и прокатываются с обжатием около 60%, при этом происходит сварка слоев.

7. *Наплавка.* При данном процессе происходит разбавление металла плакирующего слоя с основным.

8. *Плакирование взрывом.* Данный метод характеризуется применением холодных металлов. На поверхности плакирующего материала, который закрепляют под углом к основному, устанавливают взрывчатое вещество. При взрыве происходит удаление загрязнений и возникновение струи металла между слоями.

Существует ряд преимуществ данного способа относительно остальных:

1. Сварка взрывом позволяет получать листы больших габаритов, для прокатки которых нужны станы с соответствующими габаритами;

2. Данный процесс отличается высокой производительностью.

В настоящее время АО «ВМЗ» получил предложение освоить производство биметаллического листа из сталей 09Г2С и 12Х18Н10Т, используя заготовки, полученные сваркой взрывом. Размеры заготовки 88×2500×3000 мм. Проблема данного предприятия состоит в отсутствии технологии прокатки подобного рода продукции. В данной работе представлены данные сопоставительного анализа энергосиловых параметров процесса прокатки биметаллического листа с аналогичными характеристиками стана 5000.

Стан 5000

Объединенной металлургической компанией для производства труб большого диаметра был запущен современный толстолистовой прокатный стан 5000. Главной его задачей является производство листового проката для изготовления электросварных труб большого диаметра (от 508 мм (20") – до 1.420 мм (56")) на трубоэлектросварочных станах ОАО «ВМЗ». Годовая производительность стана 5000 - 1,2 млн. тонн готового листа. Характеристика стана приведена ниже в таблице 1 [2].

Таблица 1. Характеристики стана 5000

Диаметр рабочих валков, мм	1110 – 1210
Диаметр опорных валков, мм	2100 – 2300
Длина бочки рабочих валков, мм	5300
Длина бочки опорных валков, мм	4950
Скорость прокатки, м/с	0 – 7,3
Максимальное усилие прокатки, МН	120
Максимальный момент прокатки, МН×м	8,8

В первых двух проходах осуществляется прокатка при температуре 1200°C с обжатиями 21%. Далее происходит кантовка на 90° для достижения требуемой ширины листа. Затем прокатываем еще четыре раза с обжатиями 13%-16%. После кантуем еще раз и уже обеспечиваем необходимую высоту листа, для этого нужно еще 6 реверсивных проходов с деформаций 12,5%-15%.

По выбранному маршруту прокатки были получены результаты расчетов энергосиловых параметров, основанные на методике, представленной в работе [3]. Распределение силы и момента прокатки данного биметаллического листа приведены на рисунках 1 и 2.

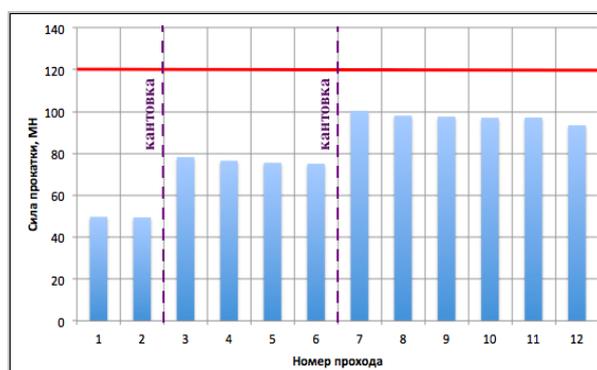


Рис. 1. Распределение величины силы прокатки по проходам.

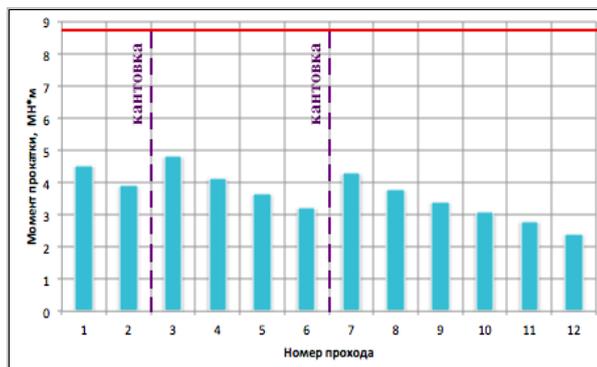


Рис. 2. Распределение величины момента прокатки по проходам.

Из приведенных диаграмм видно, что сила и момент прокатки в каждом из проходов не превышает максимально допустимых значений. Даже в самых нагруженных проходах существует запас по силе – 17% и по моменту – 45%.

Выводы

Результаты показывают, что по предложенному маршруту данный стан 5000 позволяет успешно прокатывать биметаллические листы из сталей 09Г2С и 12Х18Н10Т для дальнейшего изготовления труб диаметром 1420 мм.

Литература

1. <http://bisplav.com/bimetall/>

2. Степанов А. П., Миронова М. О. Анализ энергосиловых параметров процесса прокатки толстых листов на стане 5000. «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.
3. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009

УДК 621.771.6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИНТОВОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ АНКЕРОВ

Максим Владимирович Школьников

Студент 3 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»

При создании сложных инженерных сооружений все большее применение получают инъекционные винтовые анкеры, состоящие из трубчатой винтовой анкерной арматуры и соединительных крепежных элементов. В такой конструкции сама арматура является одновременно буровой штангой, арматурным стержнем и инъекционной трубой.

Полые трубные винтовые анкеры используются:

- для укрепления откосов и горных массивов;
- для укрепления шпунтовых и бетонных стен котлованов, подземных гаражей и
- других подземных сооружений;
- при строительстве железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитена;
- при строительстве причальных стенок в портах
- для укрепления насыпей шоссейных и железных дорог.

В 2005-2006 годах ВНИИМЕТМАШ разработал технологию холодной прокатки трубчатой винтовой анкерной арматуры и создал опытно-промышленный стан для ее производства.

Техническая характеристика стана 50-80 для холодной прокатки трубчатой винтовой анкерной арматуры:

- диаметр прокатываемой арматуры - 50...80 мм;
- длина заготовки (гладкой трубы) - 2...3,5 м;
- диаметр валков - 250...300 мм;
- длина валков (максимальная) - 240 мм;
- частота вращения валков - 20...80 об/мин;
- производительность стана - 0,5...2,0 м/мин.

Оборудование прокатного участка включает в себя: трехвалковую рабочую клетку с приводом; приемную решетку для 25 гладких труб; рычажный пневматический сбрасыватель гладких труб в желоб стана; пневматический толкатель для подачи очередной трубы в рабочие валки; систему передающих желобов, пневматический рычажный механизм для передачи прокатанной винтовой арматуры на выходную решетку, способную принять 40-45 изделий; систему подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) на рабочие валки.

Исходной заготовкой для трубчатой винтовой арматуры служат горячекатаные трубы обычной точности по ГОСТ 8732-78 из стали 40Х. Прокатка анкеров осуществляется с использованием СОЖ, обильно подаваемой на валки. Стойкость прокатных валков достигла 3000..3500 анкеров, т.е. около 10 км. При оптимальной частоте валков 35..45 об/мин продолжительность прокатки винтовой арматуры длиной 3150 мм составляет 175-180 изделий общей длиной 550-560 м. В результате годовой объем производства трубчатой винтовой анкерной арматуры $\text{Ø}60 \times 30 \times 3150$ ($D \times d \times L$) при односменном режиме работы может превышать 1200т.

В 2006 году ООО "Строймехсервис Метростроя" и ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ" разработали технические условия на "Трубчатые винтовые анкера ТВА 600 в комплекте с соединительными элементами". Исследование качества холоднокатаной трубчатой винтовой арматуры для инъекционных анкеров класса 600 показало, что отечественные изделия не уступают по прочности зарубежным и имеют стабильную точность.

Литература

1. *Котенок В.И., Майзелис Г.С.* Разработка технологии и оборудования для производства винтовой арматуры для инъекционных анкеров. // Тяжелое машиностроение, май 5 / 2008.

Секция XI

Электронные технологии в машиностроении

Председатель:

Панфилов Юрий Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Электронные технологии в машиностроении»
(МТ-11), МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ученый секретарь:

Бычков Сергей Павлович

ассистент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении» (МТ-11), МГТУ им.Н.Э. Баумана

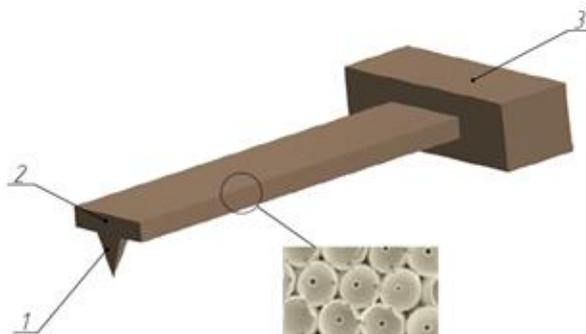
УДК 681.2.08

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОКАНТИЛЕВЕРА НА ОСНОВЕ
НАНОПЕРИОДИЧЕСКИХ ОПАЛОВЫХ СТРУКТУР**

Мария Игоревна Ашурбекова

*Студент 4 курса**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»*

Использование мезапористых (инверсных) структур в качестве материала для важнейшей части атомно-силового микроскопа, кантилевера (Рис.1), позволяет регулировать его жесткость, так как установлено, что модуль Юнга зависит от пористости инверсной структуры [1]. Широкая область применения инверсных металлических структур делает актуальной задачу проработки технологии их получения.



1 – игла, 2 – кантилевер, 3 – основание

Рис. 1. Конструкция зонда атомно-силового микроскопа на основе инверсной опаловой структуры

Получение пористых металлических структур основано на принципе заполнения матрицы материалом внедрения и дальнейшем удалением матрицы травлением. Использование в качестве матрицы фотонного кристалла позволяет получать образцы со структурированной и контролируемой пористостью, в случае опала (регулярной упаковки глобул кремнезема) подрешетки пустот между сферами занимают до 26% объема.

Ключевой операцией изготовления кантилевера из инверсных структур является заполнение матрицы материалом внедрения, металлом, и дальнейшим удалением матрицы травлением. Однако в изготавливаемых по такому методу образцах наблюдается заполнение материалом внедрения лишь приповерхностных слоев. Это связано с «закупориванием» каналов, соединяющих заполненные пустоты у поверхности с пустотами, расположенными во внутренних слоях. Для решения данной проблемы в работе предложен способ одновременного формирования опаловой матрицы и гальванического заполнения образующихся межглобулярных пустот материалом внедрения, никелем.

Метод реализуется путем смешивания раствора электролита никелирования и коллоидного раствора в одной ванне. Идея способа заключается в том, что за время формирования нового слоя глобул опала на подложке происходит электрохимическое заполнение пустот предшествующего слоя глобул никелем. Формула для скорости осаждения глобул опала получена в работе [2]. Интенсивность гальванического осаждения зависит от тока,

времени осаждения и подчиняется закону Фарадея. Таким образом, получаем зависимость силы тока от геометрии подложки:

$$I = \frac{20736 \cdot \rho \cdot z \cdot \beta \cdot l^2 \cdot j_e \cdot \varphi_p}{M \cdot (1 - \varphi_p)}$$

I - сила тока, пропущенного через смесь веществ, z – валентность элемента, ρ – плотность внедряемого вещества, l – длина мениска, β – экспериментальная константа, j_e – скорость испарения, φ_p – объемная фракция, M – молярная масса материала внедрения.

Полученная зависимость была использована для расчета режимов реализации процесса. В настоящее время осуществляется отработка представленной технологии.

Литература

1. Tae Wan Kim. The application for 3D inverse opal microstructures. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Materials Science and Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2011 – 71с.
2. Беседина К.Н. дис.....канд.техн. наук: 05.27.06; защищена 13.11.14 / Беседина Ксения Николаевна.-Москва, 2014.-151 с.

УДК 537.58

СПОСОБ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

Наталья Владимировна Баданова

Магистрант 1 года

кафедра "Электронные технологии в машиностроении"

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.Л. Колесник

кандидат технических наук, доцент кафедры "Электронные технологии в машиностроении"

Сегодня в мире существует очень много технологий, которые невозможно было представить десять-пятнадцать лет назад. Это всевозможные гаджеты в медицине и во всех отраслях науки, в бизнесе, строительстве и в других сферах деятельности, смартфоны, ультрабуки, планшеты и многое другое. На их перечисление уйдут многие месяцы, если не годы. В основе всей этой электроники лежат микросхемы, которые можно изготавливать различными способами. На протяжении многих лет эти методы совершенствуются или появляются новые, более приемлемые и усовершенствованные.

Совершенствование электронной техники сопровождается увеличением удельной тепловой мощности, что неизменно приводит к возникновению проблемы теплоотвода и необходимости снижения теплового сопротивления цепи. Отвод тепла через подложку, на которой размещаются тепловыделяющие чипы, является простым и удобным средством снижения теплового сопротивления цепи и, соответственно, температуры полупроводниковых элементов. В последнее время керамика на основе нитрида алюминия (AlN) привлекает всё большее внимание в качестве перспективного теплопроводящего материала для использования в электронной технике.

Одной из ключевых технологических операций в процессе производства силовых модулей является проведение металлизации керамической подложки. В данной работе в качестве основного метода металлизации будет рассмотрено пароструйное осаждение тонкопленочных металлических покрытий Jet Vapor Deposition (JVD) - англоязычный термин.

Данный метод, по сравнению с другими двумя аналогичными методами (химическое осаждение из газовой фазы (Chemical Vapor Deposition), конденсация с ионной бомбардировкой (Physical Vapor Deposition)), показывает хорошие результаты при нанесении покрытий из многокомпонентных материалов, отличается высокой скоростью и экономичностью, позволяет получать покрытия с высокой адгезией и хорошим согласованием коэффициентов термического расширения покрытия и подложки, толщины которых можно контролировать, а также и их стехиометрию. Важным обстоятельством является то, что осаждение происходит в экологически чистой среде, без применения токсичных веществ и катализаторов. Во время осаждения нет необходимости нагревать подложку, ее температура остаётся близкой к комнатной.

В ходе выполнения работы исследованию были подвергнуты контрольные образцы керамики с металлизацией медью, выполненной методом пароструйного осаждения, и подслоем из титана, выполненным методом дугового испарения.

Проведенные измерения позволяют говорить о высоких значениях адгезии и улучшение этих результатов с использованием подслоя из титана при использовании для нанесения меди метода пароструйного осаждения.

Литература

1. Баданова Н.В., Колесник Л. Л. Способ металлизации керамических подложек. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.
2. US. Patent 5356673 – Evaporation system and method for gas jet deposition of thin film materials, 1994
3. Непочатов Ю., Земницкая А., Муль П. Разработка керамики на основе нитрида алюминия для изделий электронной техники. // Современная электроника. – 2011, – №9.
4. RU. Патент № 2044719 – Способ металлизации заготовок пьезокерамических элементов, 2014

УДК 681.2.084

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МИКРОУРОВНЕ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПОВЕРХНОСТИ

Мария Витальевна Булыгина

Студент 5 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»

Тенденция микроминиатюризации, на сегодняшний день отразившаяся на многих технических отраслях, не обошла стороной и производство микросхем, для технологического процесса которого в качестве основной характеристики указывают минимальные контролируемые размеры топологии фотоповторителя, которые сегодня могут достигать 0,022 мкм. При уменьшении характерных размеров стоит отметить тенденцию к увеличению диаметра пластин с интегральными микросхемами. На данный момент его максимальное

значение составляет 350 мм, но компания Intel уже заявила о подготовке к переходу своего производства в Орегоне на пластины диаметром 400 мм к 2018 году.

Для измерения механических и геометрических характеристик таких устройств (подверженных одновременно двум тенденциям – микроминиатюризации и увеличению диаметра пластины) мы проанализировали возможность создания установок на базе оборудования для измерений на микроуровне в условиях большой площади поверхности для дальнейшего их внедрения на производство.

За основу установки был взят автоматизированный АСМ “NanosurfNanite” (рис. 1). Преимущества которого над аналогичным оборудованием в этой области заключаются в конфигурации оборудования под заказ потребителя, полностью автоматической предустановке измерительной головки на большой поверхности или на нескольких измеряемых объектах [5]. Он применяется для анализа свойств различных покрытий, полимеров, тканей и проводов, полупроводниковых подложек, оптических и голографических поверхностей, дисков памяти.



Рис. 1. Автоматизированный АСМ “NanosurfNanite” с возможностью измерений под углом

Исходя из анализа существующего оборудования нами было предложено компоновочное решение установки (рис. 2), которое позволит контролировать качество изделий микроэлектроники в условиях производства на микро- и наноуровнях.

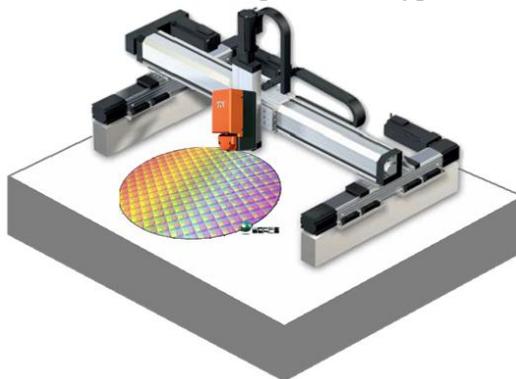


Рис. 2. Компоновочное решение установки

Предложенная нами установка состоит из:

1. АСМ NanosurfNanite в одной из двух возможных спецификаций в зависимости от поставленных задач;
2. Комплекта приводов компании Festo для перемещения АСМ по трем координатам;
3. Активной виброизолирующей платформы, позволяющей обеспечивать виброизоляцию в диапазоне частот 0,1...200 Гц с коэффициентом передачи амплитуды вибраций 0,1...0,01.

Создание установки на базе наших разработок позволит контролировать макроповерхности на микро- и наноуровне в условиях производства на всех его этапах – от момента получения заготовки – подложки, до введения получаемого изделия в эксплуатацию.

Литература

1. *Быков Ю.А., Карпухин С.Д.* Способ определения твердости субтонких защитных покрытий // Справочник. Инженерный журнал. - 2003. - № 10. - С. 26-30.
2. *Курносков А.И.* Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных схем: учебник для ВУЗов / А.И. Курносков, Юдин В.В. – М.: Высшая школа, 1986. –368 с.
3. *Булыгина М.В., Панфилов Ю.В., Петров В.В.* Анализ методов измерения механических характеристик наноструктурированных термобарьерных покрытий/ Сб. материалов XX юбилейной научно-технической конференции с участием международных специалистов «Вакуумная наука и техника», 2013, Москва, С.168 – 171.

УДК 681.2.08

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ГКР-ПОДЛОЖКИ

Алеся Николаевна Бураковская

Студент 6 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.В. Панфилова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Для измерения Рамановского излучения используют Раман-спектрометр. Рамановская спектроскопия – метод, основанный на рассеянии света, поэтому все, что нужно для получения спектра – это направить падающий луч точно на образец и затем собрать рассеянный свет. А для молекул, адсорбированных на шероховатых металлических поверхностях (в особенности на частичках благородного металла) доля рамановских фотонов достигает $10^6 \dots 10^7$ единиц. Это явление известно как гигантское комбинационное рассеяние света (ГКРС). Этот эффект открывает широкие возможности для идентификации веществ и исследования изменений, происходящих в них под действием окружающей среды.

Ученые ищут способы получения такой поверхности, на которой ГКР-эффект был бы максимальным. Одни варьируют размер частиц золота, другие – их форму, третьи – внедряют частицы благородных металлов в опаловую матрицу, при этом получая различную величину усиления. Создание нейросетевой модели ГКР-подложки облегчит поиски «идеальной» структуры, которая будет показывать максимальные коэффициенты усиления.

Предлагаемая к использованию искусственная нейронная сеть будет предсказывать порядок коэффициента усиления ГКР по параметрам, влияющим на него (материал частицы, форма частицы, структура, размеры частицы, подложка, исследуемое вещество).

Для обучения и эксплуатации сети использовались следующие параметры:

Входные:

- Материал частицы ГКР-активного слоя: Au, Ag, Cu, Al;
- Форма частицы: Наностержень, Нанопризма, Треугольная призма, Гексагональная призма, Призма на призме, Пленка, Нанозвезда, Наносфера, Столбик, Конус с острием.
- Структура: Монослой, Двумерная, Хаотическая упаковка, Наносферы с частицами в межсферическом пространстве, Кристаллы, осажженные в водном р-ре очищенные; Кристаллы, осажженные в водном р-ре; Сплошная пленка; Пленка на опале; Смесь в-ва и частиц, осажженных в водном р-ре; Острийная;
- Характерный размер частицы в плоскости, параллельной подложке;

- Характерный размер частицы или пленки в плоскости, перпендикулярной подложке;
- Материал подложки: Кремний, Стекло, Полимерная пленка, Керамика;
- Исследуемое вещество: Родамин бж, Аналин, Тиофенольный раствор, 4-метилбензениол, Бактериородопсин, Вторая гармоника оптического излучения, Атмосфера;

В качестве выходного фактора использовалась основная характеристика эффекта:

- Коэффициент усиления комбинационного рассеяния света.

Задача сети – установить зависимость между входными и выходными параметрами, то есть задача регрессии. Для решения такой задачи были обучены 2 типа сети: многослойный перцептрон MLP с двумя скрытыми слоями и обобщенно-регрессионная сеть GRNN.

Наилучшие результаты при работе с обучающим набором данных и неизвестными данными показала сеть типа GRNN – определение значения коэффициента усиления осуществляется с точностью до порядка.

Точность работы созданной сети можно и нужно повысить увеличением набора статистических данных и дальнейшим варьированием коэффициентов сглаживания и функций активаций нейронов.

В настоящее время осуществляется расширение обучающей статистики.

Литература

1. *М.Ю.Цветков*, «SERS подложки на основе самоасSEMBлированных и гибридных плазмонных наноструктур», - XIX Международная научно-техническая конференция «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РОССИИ».
2. *Rachel A. Davies*, «Chemical Enhancement of the Surface Enhanced Raman Scattering Signals of Anilines via Their Ortho-Substituents», - *Optics and Photonics Journal*, 2013, 3, 13-23.
3. *Jing Yang*, «Laser Hybrid Micro/nano-structuring of Si Surfaces in Air and its Applications for SERS Detection», - *Scientific Reports* 4, Article number: 6657.

УДК 62.974

ГЕТТЕРНАЯ ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Мария Сергеевна Бычкова

Магистр 1 года

кафедра МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.П. Бычков

ассистент кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

На сегодняшний день остроактуальной задачей при создании малогабаритных специальных ЭВП является максимальное удешевление их производства при сохранении требуемого уровня вакуума – вплоть до 10^{-8} - 10^{-9} Па – в течение всего срока эксплуатации.

Существующие основные способы откачки – штенгельный и камерный – имеют существенные недостатки. Штенгельный способ откачки требует большого времени термовакuumной обработки вследствие малой проводимости штенгеля, при этом при горячей герметизации прибора в его объем выделяется значительное количество газов. Камерный способ требует создания высокого вакуума уже в гораздо большем объеме всей рабочей

камеры, при этом значительно возрастают потоки газовой выделений при герметизации прибора, существенно ухудшающие качество вакуума в ЭВП малых объемов.

Анализ состава газовой среды показывает, что основными компонентами являются H_2 , H_2O , O_2 , CO , Ar , CO_2 , CH_4 и более высокомолекулярные углеводороды (Рис. 1 [1]). При этом интенсивность линий H_2O , O_2 , CH_4 и других углеводородов велика в непрогретых или слабо прогретых системах. Инертные газы (He , Ar , Ne , Kr , Xe и Rn) не растворяются в металлах, однако могут адсорбироваться на металлических поверхностях.

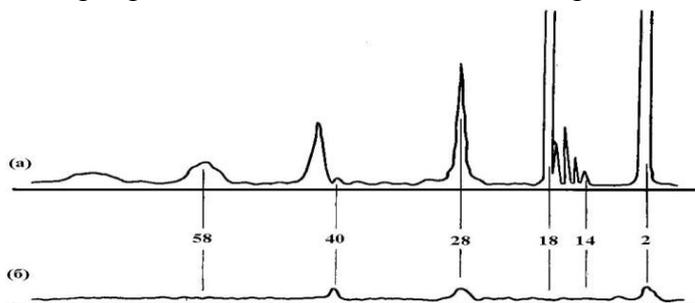


Рис. 1. Спектр остаточных газов в типичной СВВ системе:
а) до прогрева; б) после прогрева

Вследствие одновременного протекания различных процессов в рабочем объеме электровакуумных приборов возможно образование газов, которых не было в исходной газовой смеси.

Удаление большей части поглощенных металлом газов происходит посредством термообработки в вакууме.

Исследование процессов газовой выделений в вакууме требует учета различных механизмов. Выделяют следующие группы: физически адсорбированные газы; хемосорбированные газы; газы, растворенные в объеме (абсорбированные или в виде газовых пузырей); газы, выделяющиеся при разложении химических соединений; газы, проникающие извне через оболочку прибора. Получив результаты по объемам и скоростям газовой выделений для основных компонент актуальной газовой смеси, можно осуществить проектирование геттера как системы газопоглотителей и средств их регенерации.

Способы откачки с высокой скоростью при малом газовой выделении при герметизации – это геттерная и геттерно-ионная откачка. Ограниченность сорбционной емкости газопоглотителей требует разделения процесса термовакуумной обработки на два этапа: 1-ый этап – форвакуумная откачка – проводится штенгельным или камерным способами до герметизации прибора, 2-ой этап – высоковакуумная геттерная откачка – проводится после герметизации прибора посредством специальных встроенных элементов для формирования распыляемых поглотителей или с использованием нераспыляемых газопоглотителей.

Для проектирования системы геттеров необходимо: подобрать эффективные материалы для поглощения имеющихся газов в заданном количестве с необходимой скоростью; разместить их внутри прибора; спроектировать устройства регенерации газопоглотителей.

Удельная быстрота действия S_0 газопоглотителей определяется по формуле [2]

$$S_0 = 36,38 \beta_0 \left(\frac{T}{M} \right)^{0,5}$$

где T [K] – температура термодинамического равновесия газа со стенками, M [а.е.м.] – молекулярная масса газа, β_0 – начальный коэффициент прилипания газа.

Важным параметром при использовании пленочных геттеров является температура испарения. Геттер должен испаряться при не очень высокой температуре для избежания испарения других материалов вакуумной системы, при этом температура не должна быть слишком низкой для осуществления требуемого нагрева при обезгаживании поверхностей. Для увеличения размеров активной поверхности геттеры должны быть пористыми. Химические

соединения, получаемые при взаимодействии газов и паров с геттером, должны быть устойчивыми во всем интервале рабочих температур при хранении и эксплуатации прибора. Наиболее часто используются в качестве геттеров Ti, Zr и его сплавы, Ta, Ва, Th, Cd, реже Mo, Mg, Hf, Er, Y.

Поглощение основных газов и паров, характерных для вакуумных систем (N_2 , O_2 , CO, CO_2 , H_2O), происходит путем хемосорбции и абсорбции. При этом требуется определение оптимальных температур этого поглощения для каждого из газов. Инертные газы не поглощаются ни при какой температуре [3]. На рис.2 показаны типичные изменения состава газовой смеси аргона с воздухом после взаимодействия с геттером при разных температурах.

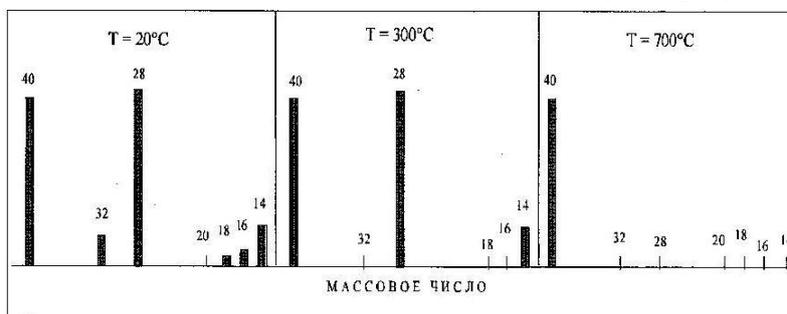


Рис.2. Масспектрометрические гистограммы изменения состава смеси аргона с воздухом после взаимодействия с геттером Zr(51)-Fe(49) при разных температурах [3].

Выводы

Оптимальная система газопоглощения ЭВП должна включать в себя следующие составляющие: 1) высокотемпературный пористый или пленочный геттер для сорбции химически активных компонентов остаточной газовой среды; 2) отдельный геттер для поглощения водорода; 3) систему ионно-геттерной откачки для поглощения инертных газов; 4) систему термического или электрического разложения молекул углеводородов и геттер для их поглощения.

Литература

1. Гюнтер К. Методы и приборы для измерения парциальных давлений. - Сб. статей Сорбционные процессы в вакууме – М.: Атомиздат, 1966, 316с.
2. Саксаганский Г.Л. Электрофизические вакуумные насосы. - Л.: «Энергоатомиздат», 1988, 278 с.
3. Ажажа Р.В., Кривуля С.С., Свинаренко А.П. Исследование сорбционных характеристик нераспыляемого геттера на основе сплава Zr-Fe - Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники» (11).— 2000.— №5.— с. 19—21.

УДК 621.793

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПОДЛОЖЕК ИЗ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА FR4 ДЛЯ РЕЛЬЕФНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Василий Денисович Воронов⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

Студент 5-го курса⁽¹⁾, Студент 6-го курса⁽²⁾

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.В. Панфилов

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электронные технологии в машиностроении»

Из множества возможных материалов для производства печатных плат особое внимание заслуживает фольгированный стеклотекстолит типа FR4. Он является основным базовым материалом для производства рельефных печатных плат (РПП). Металлизация в производстве МПП (многослойных печатных плат) и РПП является одним из самых важных технологических этапов, так как во многом определяет электрофизические характеристики и надежность ЭУ, обеспечивает требуемую плотность коммутационных элементов и, тем самым, плотность монтажа ячеек. Самая простая технология металлизации диэлектриков – это фольгирование, поэтому большинство исходных материалов для производства ПП представляют собой фольгированные диэлектрики. Однако фольгирование не обеспечивает металлизации отверстий и необходимую плотность коммутации в соответствии с современными требованиями к РПП, что стимулировало появление других технологий металлизации, причем комбинация магнетронного метода нанесения и гальванической технологией осаждения оказалась наиболее пригодной для изготовления РПП [1].

Целью данной работы было сравнение методов магнетронного осаждения меди на подложки FR-4 для определения более технологичного метода получения покрытия с удовлетворительной адгезией.

Проведены эксперименты по нанесению меди на FR4, получено 3 различных образца: 1) FR4 с медью; 2) FR4 с адгезионным подслоем хрома и медью (за два различных цикла на одном магнетроне со сменой мишени); 3) FR4 с адгезионным подслоем хрома и медью (за один цикл на двух различных магнетронах).

Проведено измерение адгезии всех образцов методом скрайбирования. У всех образцов наблюдалась хорошая адгезия меди к поверхности FR4 со значением 0 по ISO 2409. Покрытие всех образцов выдержало гальваническое наращивание меди.

По результатам проведенных экспериментов сделан вывод, что необходимость в нанесении адгезионного подслоя хрома на стеклотекстолит FR4 отсутствует, а также полученное покрытие выдерживает метод гальванического наращивания. FR4 не выдерживает высокие температуры и прогорает, поэтому при металлизации поверхности медью методом магнетронного распыления необходимо избегать высокого температурного воздействия осаждаемого материала на подложку.

Литература

1. <http://www.studfiles.ru/dir/cat34/subj1252/file11411/view123726.html>

УДК 621.389

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТВЕРСТИЙ В СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКАХ НА ПРОЦЕСС ИХ МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Алина Александровна Доброносова⁽¹⁾, Бахруллохуджа Баходурович Самадов⁽²⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 4 курса⁽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»

Введение

На сегодняшний день в электронике стала очевидна существенная диспропорция между уровнем интегральных микросхем и технологиями создания конечной продукции. Это обусловлено тем, что международные стандарты ISA и PC/104 предполагают использования многослойных печатных плат в совокупности со штыревыми разъемами. Подобные решения, существующие со времен ламповых схем, уже исчерпали себя. С целью устранения данного несоответствия были разработаны рельефные печатные платы (РПП).

Обычные многослойные платы по сравнению с двусторонними обладают множеством недостатков, среди которых можно назвать низкую надежность, проблемы с монтажом неоднородных элементов, сложность обеспечения заданных волновых сопротивлений, но плотность монтажа у них гораздо выше.

Были разработаны технологии, которые позволили обычные двусторонние печатные платы дополнить возможностью построения схем любой сложности. Их главная суть заключается в отказе от фольгированных диэлектриков и переход на производство рельефных печатных плат.

Положительные результаты испытаний и практически десятилетняя эксплуатация опытных образцов в тяжелейших условиях убедительно доказывают, что уже сегодня на предлагаемой базе может быть создан совершенно новый класс электронных устройств. По основным характеристикам (надежность, помехозащищенность, простота изменения конфигурации) на сегодняшний день в зарубежном и отечественном приборостроении равных РПП нет.

Принципиально важно, что производить рельефные платы можно на стандартном технологическом оборудовании. Процесс не предполагает использование дорогих компонентов (безусадочной фотопленки, фотостекол, фольгированных диэлектриков и пр.) Себестоимость квадратного дециметра при среднесерийном производстве несколько меньше стоимости многослойной платы аналогичного предназначения. Очень важно, что РПП полностью ремонтпригодны [1].

Одной из наиболее существенных проблем при производстве данных плат является металлизация отверстий. К ним предъявляют повышенные требования относительно толщины и равномерности. Для получения качественной металлизации необходимо подобрать оптимальные методы и режимы.

В данной статье приведены результаты экспериментов по нанесению металлизационного медного покрытия методом магнетронного распыления при варьировании расстояния от образца с отверстиями различных диаметров до магнетрона. И представлены результаты измерений толщины пленки в лазерном сканирующем микроскопе.

Подготовка образцов

Для проведения экспериментов была разработана тестовая структура из слоистого пластика (FR4) толщиной 1.5 мм. Сверление образцов FR4 производилось сверлильно-фрезерным станком Bungard CCD/MTC (Computer Controlled Drilling machine/Manual Tool Change, управляемый компьютером).

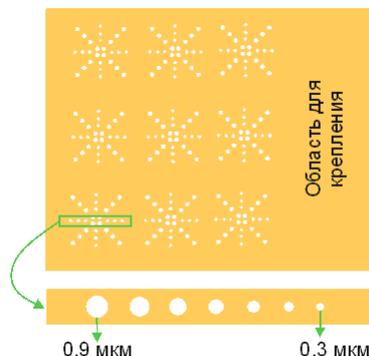


Рис. 1. Подложка с отверстиями

Проведение эксперимента

Предварительно осуществлялась ионная обработка образцов слоистого пластика для обеспечения наиболее качественного покрытия. Выбранный режим представлен в таблице 3.

Таблица 3. Параметры процесса предварительной ионной обработки подложек

Параметр	Значение
Показание РРГ Ar,	15 куб.см.
Рабочее давление	0,19 Па
Напряжение пучка	0,25 В
Ток пучка	5 мА
Время травления	5 мин

Далее были проведены два эксперимента металлизации образцов при различных расстояниях до мишени. Выбранные режимы представлены в таблице 4.

Таблица 1. Параметры процесса нанесения пленки Cu

Параметр	№ образца	
	1	2
Рабочее давление, Па	0,27	0,25
Показания РРГ, куб.см.	15	15
Мощность магнетрона, Вт	50	50
Время тренировки мишени, мин	3	3
Время нанесения, мин	30	30
Расстояние от образца до магнетрона, мм	30	120

Исследование образцов производилось на лазерном сканирующем 3D микроскопе Keyence VK-X100/X200 с разрешением 1 нм, совмещающий в себе оптический микроскоп с функцией анализа данных растрового электронного микроскопа.

Литература

1. Богданов А., Богданов Ю. Двусторонние рельефные печатные платы /А. Богданов, Ю. Богданов // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2002. - № 2. – С. 36-37.

УДК 006.013

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТИЗОВАННЫХ МЕТОДИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
НАНОПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР**

Вера Леонидовна Колесник

*Студент 3 курса**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»*

Развитие нанотехнологий сопровождается появлением нормативной документации в этой области науки и техники. Международная организация по стандартизации (ISO) опубликовала более 50 стандартов, разработанных Техническим комитетом ИСО/ТК 229. В результате значительно расширен инструментарий, который может содействовать научным исследованиям и коммерциализации нанотехнологий [1]. В России за последние 9 лет опубликовано 36 стандартов [2] (рис. 1).

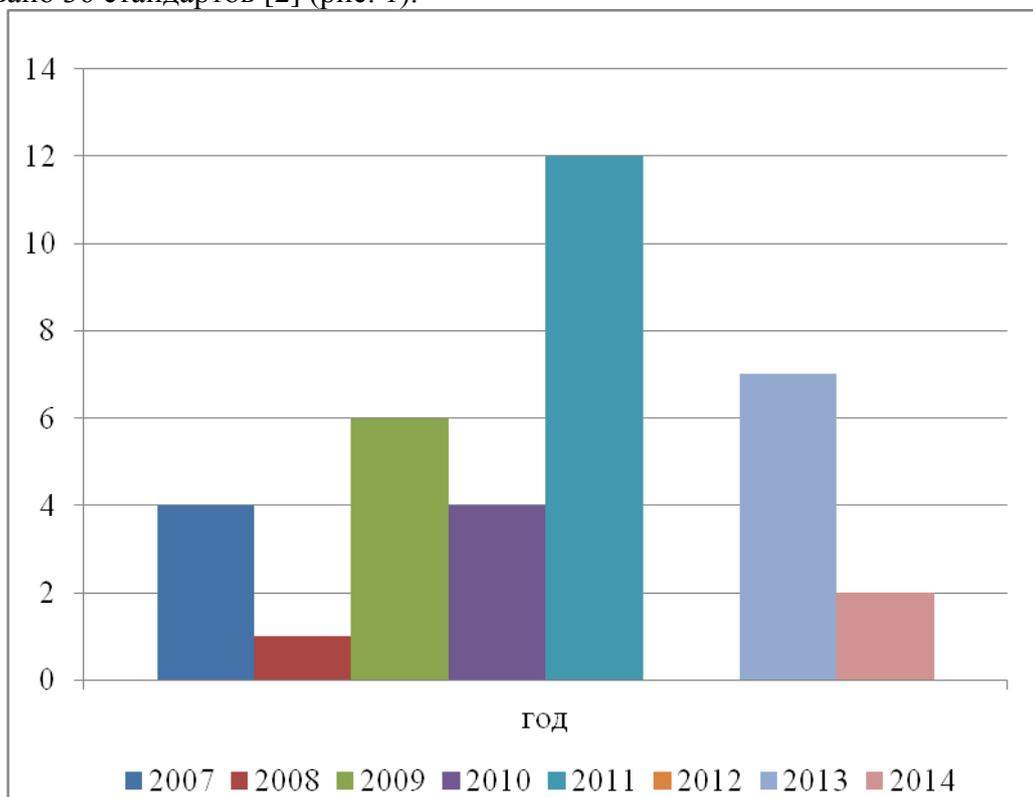


Рис.1. Количество опубликованных в России стандартов в области нанотехнологий по годам.

Эти документы регламентируют:

- термины и определения нанообъектов,
- методики контроля характеристик изделий в нанотехнологическом производстве,
- вопросы менеджмента качества в наноиндустрии и т.п.

Представленные в стандартах методики могут быть использованы, в том числе, и при разработке и исследовании нанопериодических опаловых структур и изделий электронной техники на их основе.

Например, ГОСТ Р 54622 – 2011 «Нанотехнологии. Термины и определения нанообъектов. Наночастица, нановолокно и нанопластина» определяет основные размерные характеристики объектов, а также классифицирует их по размерам и свойствам, давая возможность выявить наиболее характерные размерные эффекты исследуемых структур.

ГОСТ Р 56189 – 2014 «Контроль основных характеристик. Материалы из углеродных нанотрубок. Методы определения поверхностного сопротивления» регламентирует методы измерения характеристик, условия проведения измерений и обработку результатов. Стандарт может быть использован при формировании и исследовании эмиссионных структур на опаловой подложке.

Так же имеется ряд стандартов для оборудования, применяемого при исследовании наноструктур.

Действие стандартов ГОСТ Р 8.630 - 2007 «Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика поверки» и ГОСТ Р 8.635-2007 «Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика калибровки» распространяется на сканирующие зондовые атомно-силовые микроскопы, применяемые для измерений линейных размеров в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-6} м, эти документы устанавливают методику их первичной и периодических поверок и калибровок соответственно.

Стандарт ГОСТ Р 8.700-2010 «Методика измерений эффективной высоты шероховатости поверхности с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа» устанавливает методику измерений эффективной высоты шероховатости изотропных поверхностей твердых тел с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа. Предлагаемые методики интересны для применения в исследованиях поверхности тонкопленочных опаловых структур, используемых при создании сенсорных элементов, для которых параметры рельефа являются определяющими

Литература:

1. С.Хохлявин. Стандартизация – поддержка исследований в нанотехнологиях // Наноиндустрия. Научно-технический журнал. Выпуск № 4/2010 – с. 38-44.
2. Федеральное агентство по техническому регулированию и стандартам. Информационный стандарт по стандартизации: [Электронный ресурс]. URL: <http://standard.gost.ru/>.

УДК 30.19.27, 47.13.31

ПЛАТФОРМА ДЛЯ АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Алексей Андреевич Копылов⁽¹⁾, Дмитрий Константинович Товмаченко⁽²⁾, Тун Лин Аунг⁽³⁾

*Магистрант 5 курса⁽¹⁾, студент 4 курса⁽²⁾, магистрант 5 курса⁽³⁾
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»

В настоящее время большой научный и практический интерес представляют магнитореологические (МР) материалы, механические свойства которых могут быстро изменяться в широких диапазонах под действием внешнего магнитного поля. МР материалы – это так называемые «умные» материалы, способные быстро и обратимо менять свои физико-механические свойства под действием внешнего магнитного поля [1]. К МР материалам

относят МР эластомеры, которые получают путем добавления в высокоэластичную матрицу из силиконового эластомера частиц железа микронных размеров (1-10 мкм). С ростом индукции магнитного поля модуль упругости МР эластомеров увеличивается [2]. В работе исследовались свойства МР эластомеров и платформы для активной виброизоляции прецизионного оборудования (сканирующих зондовых микроскопов, установок для оптической, электронной, ионной микролитографии и т.д.).

Был проведён статистический анализ МР эластомера в среде SolidWorks. Для этого была построена 3-D модель основной части демпфера, соответствующая ранее изготовленным чертежам. На модели было указано необходимое крепление и приложена сила, равная 50 Н, что соответствует нагрузке на МР эластомер. В результате статистического анализа была получена модель линейного перемещения демпфирующего элемента и выявлено максимальное перемещение фланца, закреплённого на МР эластомере, составляющее 1 мм, что является приемлемой величиной для анализируемого типа демпфера.

Были проведены экспериментальные исследования значений тока трогания активного демпфера на основе МР эластомера, которые определяют погрешность позиционирования платформы в режиме стабилизации положения объекта. Результатом экспериментальных исследований при пассивном гашении является коэффициент передачи амплитуды колебаний (КПАК), который показывает отношение амплитуд колебаний объекта виброизоляции и неподвижной опоры. После обработки данных был построен график зависимости КПАК от частоты колебаний. В результате экспериментов было определено, что на частотах от 60 до 110 Гц, достигается максимальное гашение колебаний в пассивном режиме.

Литература

1. J. D. Carlson и M. R. Jolly, «MR Fluid, foam and elastomer devices» Mechatronics, 2000, № 10, pp. 555-569.
2. Kordonsky W. Magnetorheological effects as a base of new devices and technologies. J. of Magnetism and Magnetic Materials. 1993, Vol. 122, pp. 395-398.

УДК 621.793.182

МОНТАЖ И ЗАПУСК ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА НМСА-50 НА УСТАНОВКЕ МВТУ-11-1

Мария Владимировна Макарова⁽¹⁾, Александр Сергеевич Бабурин⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽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»

В отличие от обычного магнетрона, в жидкофазном в качестве мишени используется металл в тигле, изолированный от системы охлаждения и нагреваемый до температуры плавления под воздействием ионов плазмы. Скорость осаждения в данном случае складывается из двух факторов: испарения и распыления. При высоких температурах процесс испарения становится доминирующим. Энергию, идущую на нагрев мишени, не нужно отводить из катодного узла системой охлаждения, что позволяет значительно увеличить мощность, вкладываемую в ряд.

Для реализации данного метода нанесения на вакуумной установке МВТУ-11-1 в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «НИИТМ» разработан и изготовлен жидкофазный магнетрон НМСА-50. Целью данной работы является монтаж магнетрона и отработка режимов зажигания разряда и стабильной работы магнетрона.

Был проведен ряд экспериментов по запуску магнетрона с различной вариацией условий запуска. Зажигание разряда магнетрона проводился при работе по опорному напряжению. Стандартный диапазон напряжений зажигания разряда магнетрона 500-600 В. Для питания магнетрона использовался блок АРЕL-М-5РDС мощностью до 5 кВт. В первой серии экспериментов не удалось найти стабильный режим работы магнетрона. Вследствие чего было решено повысить давление. Для этого была изготовлена заслонка, для повышения давления. Максимально возможное давление с заслонкой 1,2 Па.

Результаты и выводы

Магнетрон НМСА-50 был смонтирован на установку МВТУ-11-М и запущен. Магнетрон стабильно горит при толщине мишени 0,5 мм с параметрами процесса $Q_{Ar} = 20 \text{ sccm}$, $P = 0,8 \text{ Па}$, $U = 650 \text{ В}$ при включенном источнике ионов. С помощью жидкофазного магнетрона НМСА-50 было реализовано нанесение тонкой пленки из меди в режиме распыления твердой мишени.

Для того чтобы стабильно работать с толщинами мишени 2 мм и более, а, тем более, расплавить мишень, вероятно, недостаточна величина магнитного поля системы на необходимой высоте. Причинами этого могут являться недостаточные парамагнитные свойства материала тигля и неэффективная магнитная система.

Литература

1. <http://apelvac.com/f/37/92/Manual%20APEL-M-3PDC.pdf>
2. Войнов Р.Ю., Третьяков Р.С., Талаева Ю.С. Исследование энергопотребления диодных распылительных систем с твердым и жидким катодом / — Томский политехнический университет, 2009
3. А. И. Кузьмичев. Магнетронные распылительные системы /— М.: Из-во «Аверс», 2008

УДК 621.793.182

МОНТАЖ И ЗАПУСК ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА НМСА-50 НА УСТАНОВКЕ МВТУ-11-1

Мария Владимировна Макарова⁽¹⁾, Александр Сергеевич Бабурин⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽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»

Для устойчивого горения разряда на поверхности мишени в магнетронных распылительных системах требуется величина магнитного поля больше некоторого критического значения, которое зависит от конструкции магнетрона. Это тем более актуально для магнетронов с жидкофазной мишенью, поскольку на начальных стадиях требуется расплавить материал в тигле, изолированном от поверхности катода магнетрона.

Отработка режимов жидкофазного магнетрона НМСА-50, смонтированного на вакуумной установке МВТУ-11-1, показала нестабильную работу магнетрона даже в режиме работы с твердой мишенью. Возможные причины – неэффективность магнитной системы,

вследствие чего не достигается достаточная величина магнитного поля, и ослабление поля вследствие свойств материала тигля.

Работа жидкофазного магнетрона НМСА-50 была нестабильной. Это могло произойти из-за:

- Недостаточных парамагнитных свойств материала тигля;
- Неэффективной конфигурации магнитной системы;
- Слабой величины магнитной силы постоянных магнитов.

В данной статье рассмотрены и проанализированы все три предположения.

Тигель изготовлен из молибдена, который обладает отличными парамагнитными свойствами. Однако природный молибден содержит в качестве примесей хром и железо, ослабляющее магнитное поле. Соответственно при большом количестве примесей свойства молибдена, как парамагнетика, становятся недостаточными. Для проверки данного предположения было измерено магнитное поле магнетрона на различных высотах.

С помощью программы FEMM была смоделирована существующая и альтернативная магнитные системы жидкофазного магнетрона. После чего было проведено графическое сравнение теоретических существующей и альтернативной систем.

Для проверки величины магнитной силы используемых постоянных магнитов было проведено графическое сравнение теоретических значений магнитной силы смоделированной и реальной систем.

Выводы и результаты

Из проведенных измерений было выяснено: тигель не ослабляет магнитное поле магнетронной системы.

С помощью моделирования было установлено, что имеющаяся магнитная система обеспечивает большую магнитную индукцию, чем альтернативная.

Вследствие сильного различия теоретически возможной величины магнитной индукции и измеренной на практике можно предположить, что в имеющейся магнитной системе стоят слабые магниты. Следовательно, для обеспечения большего значения магнитной индукции необходимо заменить магниты в существующей системе.

Литература:

1. А. И. Кузьмичёв. Магнетронные распылительные системы /— М.: Из-во «Аверс», 2008;
2. http://eot-ttd.blog.tut.by/files/2014/08/Start_FEMM4_2_v2.pdf

УДК 621.79.024.6

ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПОДЛОЖЕК ПО КРИТЕРИЮ УГЛА

Юлия Сергеевна Макарова⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽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»

Необходимым условием получения изделий высокого качества и точности является четкое выполнение всех операций при его производстве. Относительно технологий микроэлектроники все требования принимают особо важный характер. Помимо необходимости

поддержания чистоты помещения при производстве микроэлектронных устройств, также необходимо уделять немалое внимание к предварительной подготовке их оснований, т.е. подложек.

Чистота поверхности подложек играет огромную роль при изготовлении устройств микроэлектроники. Во время производственного процесса наличие на поверхности пластины разного рода загрязнений неизбежно, что препятствует получению высокой адгезионной прочности наносимого покрытия.

Возникающие выше перечисленные трудности, появляющиеся в связи с недостаточной степенью чистоты поверхности подложки, могут быть предотвращены различными методами предварительной подготовки подложек. Существует немало методов очистки полупроводниковых пластин, поэтому важной задачей является определить наиболее технологичный из них. Данная работа посвящена исследованию наиболее распространенных способов очистки подложек и выявлению наиболее эффективного из них.

Исходными образцами были ситалловые подложки, которые в процессе исследований обрабатывались различными способами и растворами. Как известно, покрытия на ситалле, в частности медь, имеют достаточно малую адгезионную прочность. Но ситалл с напыленным медным покрытием широко применяется для СВЧ приборов, поэтому важной задачей является обеспечить высокую адгезию меди к ситаллу. При решении этой задачи необходимо обращать внимание на множество факторов, в том числе и на чистоту поверхности.

В процессе исследований использовался спирт, ацетон и концентрат А1 для выполнения предварительной очистки подложек.

Для выполнения качественной очистки подложек и дальнейшего применения способа данной очистки в производстве необходимо использование ультразвуковой ванны (УЗВ). Ультразвуковая отмывочная ванна – оборудование, предназначенное для создания кавитации налитой в него жидкости [1].

Целью экспериментов является исследование режимов предварительной очистки подложек и их влияние на чистоту поверхности и оценка зависимости адгезии от значения краевого угла смачивания подложки.

Контроль чистоты поверхности подложки проводился с помощью определения краевого угла смачивания гониометром ЛК-1. Контроль адгезии пленки Си к подложке проводился скрайбированием, дающим качественную оценку адгезионной прочности.

В первом этапе экспериментов определялся раствор, который при очистке в нем подложки обеспечивает наименьший краевой угол смачивания. Во втором этапе экспериментов определялись зависимости краевого угла смачивания от температуры и времени обработки.

По итогам первой серии экспериментов было выявлено, что наиболее эффективным раствором для предварительной очистки является А1, поэтому дальнейшие исследования проводились на его базе. Результаты экспериментов для раствора А1 отражены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментов по второму этапу

№ эксп.	Температура очистки, °С	Время очистки, мин	Значение краевого угла смачивания	Адгезия
4	50	5	18,724	5
5	60	5	16,740	4
6	40	5	20,567	5
7	50	1	18,858	5
8	50	9	17,750	5

Проведенные эксперименты по выбору раствора и отработке режимов предварительной очистки подложек показали, что наиболее эффективным является очистка раствором при температуре 60°С, времени очистки – 5 мин. Анализ результатов экспериментов показал, что интенсивность очистки явно зависит от температуры и практически не зависит от времени.

По результатам исследований высокой адгезионной прочности покрытия достигнуто не было. Это говорит о недостаточности только предварительной очистки и ставит необходимость в поиске дополнительных способов получения высокого значения адгезии. В дальнейшем планируется отработать предварительную очистку подложек, используя другие методы, такие как обработка пластины источником ионов и ее нагрев.

Литература

1. http://www.protehnology.ru/page/ultrazvukovye_vanny

УДК 539218621.793

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ НА СТЕКЛЕ

Елизавета Ильинична Малеванная⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽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"

Материалы электронной и радиоэлектронной промышленности должны быть высокого качества: в пленках не должно быть примесей и пор. Например, поры в диэлектрике тонкопленочных конденсаторов приводят к пробоям и являются причиной негодности этого элемента микросхемы [1], а потери электрической энергии из-за пористой структуры тонкопленочных проводящих элементов приводит к уменьшению эффективности схем [2]. Таким образом, поры в пленках являются негативным фактором, который необходимо устранять.

Пористая структура объясняется тем, что при осаждении пленки на поверхность подложки формируется столбчатая структура покрытия, из-за чего в нем образуются проколы [3].

На морфологию и рост пленок оказывает влияние ряд факторов:

- морфология поверхности подложки;
- скорость осаждения материала пленки;
- температура подложки;
- энергия осаждающихся частиц.

Для уменьшения влияния вышеперечисленных факторов предлагается несколько способов [3]:

- предварительная ионная очистка подложек и ионное полирование;
- нагрев подложки;
- уменьшение скорости осаждения;
- увеличение энергии осаждающихся атомов;
- ионное ассистирование при нанесении.

Целью этой работы является получения бездефектного функционального тонкопленочного покрытия толщиной $0,6 \pm 0,2$ мкм из никеля для электродов на стекле для дальнейшего проведения процессов литографии.

Эксперименты проводились на установке ВУП-11М [4] кафедры МТ11 «Электронные технологии в машиностроении».

Для получения тонкопленочного покрытия из никеля использовался метод магнетронного распыления. Влияние никеля на магнитное поле магнетрона было минимизировано за счет использования мишени из тонкой никелевой пластины толщиной 0,5 мм.

Был проведен эксперимент по нанесению тонкой пленки никеля на стекло для проверки работоспособности магнетрона с тонкой никелевой мишенью и определения скорости осаждения материала.

В полученной пленке на просвет обнаружены проколы. При царапании пленка легко отходила от подложки. Толщина пленки при измерении на СЗМ SolverNext составила 470 нм. Для улучшения качества покрытия было решено нанести покрытие при меньшем значении мощности и при увеличенном расстоянии до магнетрона.

Второй образец пленки оказался более высокого качества: на просвет пор не было видно. Поверхность пленки рассматривалась на микротвердомере ПМТ-3М. При увеличении зафиксированы редкие поры. Была сделана царапина, чтобы посмотреть, как ведет себя пленка на стекле, покрытие довольно легко отходило от поверхности.

Был сделан третий образец пленки никеля на стекле при меньших значениях расстояния и мощности. Поверхность стекла была отполирована после предыдущей пленки. Полученное покрытие было рассмотрено на микротвердомере, на поверхности были видны следы полировки. В пленке обнаружены поры, а также включения округлой формы. Возможно, данный дефект образовался из-за неплотного прилегания мишени к магнетрону, из-за чего мишень сильно нагревалась, и на подложку осаждались целые кластеры материала.

Проведен очередной эксперимент по нанесению никелевого покрытия ВЧ источником. Поверхность стекла была отполирована от прошлой пленки и почищена спиртом. Образец покрытия был рассмотрен при увеличении. На поверхности заметны следы полировки, проколов в пленке очень мало. Также видны небольшие включения материала в пленке и разводы, возможно, появившиеся при обработке спиртом.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что уменьшение скорости осаждения покрытия приводит к уменьшению количества пор в пленке.

В дальнейшем планируется провести эксперименты по формированию тонкопленочной структуры с подачей тока смещения на подложку, чтобы оценить влияние энергии осаждающихся частиц на пористость покрытия.

Литература

1. Чебурахин И.Н., Нефедьев Д.И., Оценка качества тонкопленочных тензоструктур МДМ/ Д.И. Чебурахин// Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2013. - №3. - С. 54-60.
2. Технология тонких пленок. Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга: Пер. с англ; Под ред. М.И. Элинсона, Г.Г. Смолко. М.: Советское радио. 1977. Т.1. 664 с.
3. И.Ф. Ивановский, В.И. Петров Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: Радио и связь. 1986. - 232 с.
4. Д.Д. Васильев, Е.И. Малеванная// Формирование двухкомпонентных тонких пленок на установке ВУП11-М/ Будущее машиностроения России: сб. тр. Седьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, 24-27 сентября 2014 г./ Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – С. 154-155.

УДК 621.914.3**МИКРОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК**

Александр Сергеевич Метелёв

*Студент 4 курса**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»*

Микрофрезерные станки используются для высокоточной механической обработки фрезерованием, а так же для сверления отверстий. Такие станки, хоть и не обеспечивают высокой производительности при серийном производстве, незаменимы при единичном и лабораторном производстве, а так же при прототипировании односторонних и двусторонних печатных плат.

Станок, представленный на кафедре предназначен для обработки мягких цветных металлов, дерева, пластика, а так же текстолита (как фольгированного, так и нефольгированного). Аппарат оборудован системой числового программного управления, которая позволяет автоматизировать процесс обработки.

Станок разработан силами кафедры. Для передвижения координатного столика по трем координатам используются шаговые двигатели ДШИ-200-3. Передвижение контролируется концевыми датчиками. Для управления двигателями в реальном времени используется контроллер CPU-188. Для подачи команд оператором к контроллеру подключен персональный компьютер с операционной системой Windows XP.

Общий вид рабочего места представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид рабочего места

Описана работа основных компонентов системы управления: персонального компьютера, контроллера, управляющего шаговыми двигателями и шпинделем в жестком реальном времени. Показаны результаты эксперимента по поиску резонансной частоты шаговых двигателей станка, предложены варианты решения этой проблемы.

УДК 621.914.3

ПНЕВМОГИДРОПРИВОД С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Дмитрий Александрович Пашовкин

Студент 5 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: В.П. Михайлов

доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Важным средством повышения качества и эффективности производства изделий электронной техники является внедрение прогрессивных технологических методов, которые позволяют решать принципиально новые задачи или обеспечивают более высокий уровень решения задач производства. Особенно актуален поиск альтернативных методов обработки в производстве продукции массового выпуска, таких, как приборы электронной техники. Одним из видов такой обработки является электронная литография с непрерывным перемещением координатного стола с полупроводниковой подложкой, при котором происходит непрерывное экспонирование поверхности подложки электронным пучком. При этом необходимо обеспечить очень высокую равномерность перемещения каретки координатного стола, поскольку любое отклонение от номинальной скорости приводит к возникновению погрешностей экспонирования подложки при формировании на ней топологического рисунка.

Одной из трудоемких операций в изготовлении приборов является разделение полупроводниковой пластины диаметром 80-200 мм на отдельные элементы круглой формы 1-3 мм. Существуют несколько методов резки пластин [2], но самым производительным и точным является метод струйно-абразивной обработки. Метод заключается в удалении материала заготовки при ударе абразивных частиц о ее поверхность. При этом для обработки используется смесь абразивного порошка и сжатого воздуха, который придает частицам необходимую для съема материала кинетическую энергию. 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 необходима регулировка скорости перемещения обрабатывающих сопел 0;05...0.3 м/сек. Для обеспечения заданного закона перемещения предлагается использовать пневматический привод с электрореологическим (ЭР) регулятором скорости. Электрореологическим эффектом называется обратимое изменение вязко-упруго-пластичных свойств ЭРЖ (суспензий) при наложении внешнего электрического поля. [1]. ЭР жидкость (ЭРЖ) -это взвесь микрометровых (1-100 мкм) электропроводящих частиц в непроводящей электричество органической жидкости.(20-30% частиц в ЭРЖ).

Подавая напряжение (0-3 кВ) на электрод ЭР-дресселя, можно управлять потоком течения ЭР-жидкости через кольцевой зазор дресселя. Следствием изменения потока ЭР-жидкости является изменение скорости движения штока гидропривода. Таким образом, варьируя напряжением на электроде дресселя, можно добиться необходимой скорости движения и плавности хода рабочего штока.

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.

В результате получены экспериментальные зависимости положения и скорости перемещения штока без управляющего напряжения и без ЭРЖ (рис. 1а), без подачи управляющего напряжения и с ЭРЖ (рис. 1б), а также с ЭРЖ при подаче управляющего напряжения 280 В на ЭРД (рис. 1в)

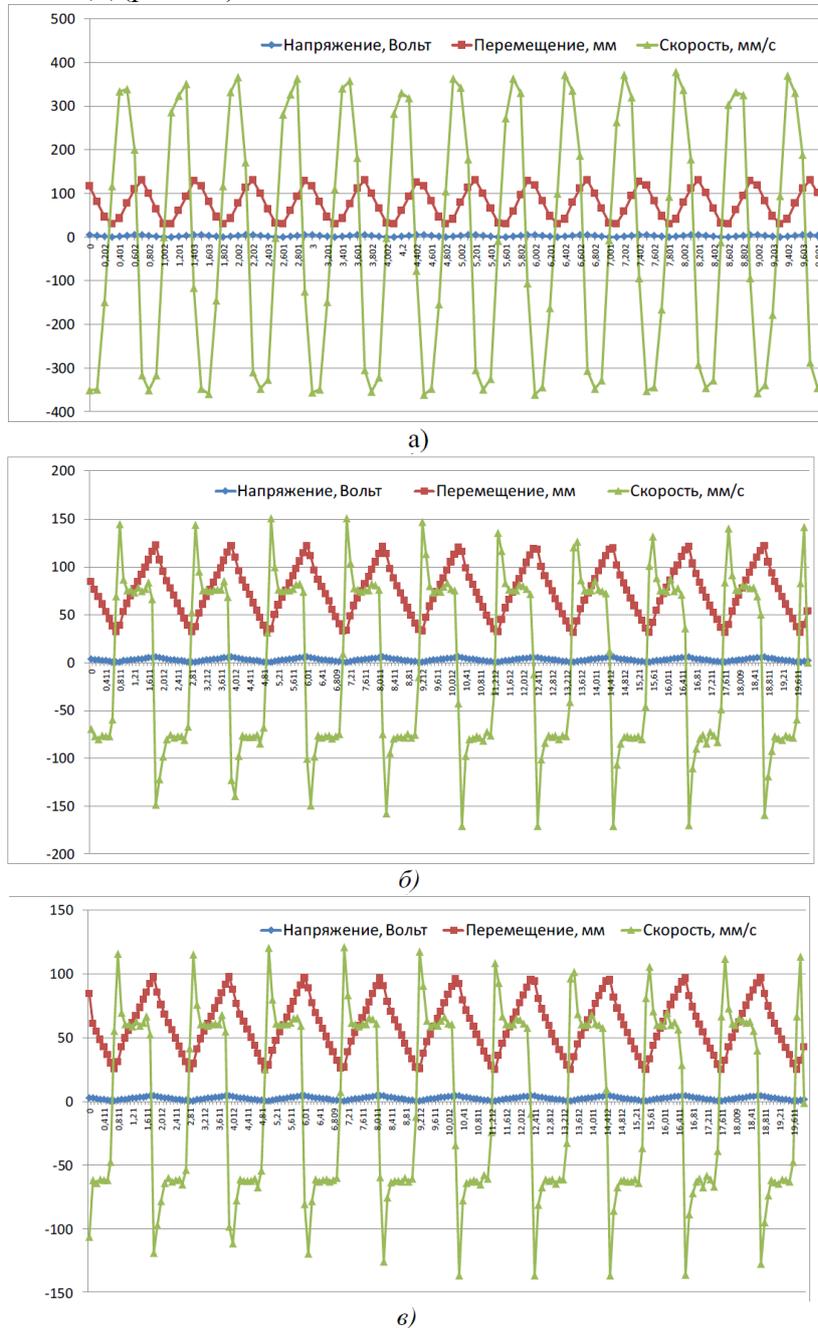


Рис. 1. Результаты экспериментов

Литература

1. З.П.Шульман и др., Электрореологический эффект - Минск: Наука и техника, 1972.-172 с

2. И.Г. Пичугин. Технология полупроводниковых приборов / И.Г. Пичугин, Ю.Н.Таиров.- Москва: Высшая школа, 1984.-288 с.

УДК 544.22

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Чжо Зин Пью

Студент 2 курса магистратуры

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Беликов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

В настоящее время наиболее широко исследуемым и перспективным «двумерным» материалом нанoeлектроники является графен, который обеспечивает высокую подвижность носителей заряда. Однако, наряду с графеном, интерес исследователей вызывают также и другие материалы, анизотропная структура которых позволяет методом механического расщепления слоев получать образцы пленок толщиной в молекулу. К таким материалам относятся дисульфид молибдена и гексагональная модификация нитрида бора. Монослойный дисульфид молибдена, как перспективный двумерный материал, обладает прямой запрещенной зоной шириной в 1.79 эВ (например, у кремния эта величина составляет 1 эВ) [1], что представляет интерес применительно к цифровой электронике. Атомарный слой графена вследствие отсутствия запрещенной зоны, не подходит для ряда применений в области электроники и оптики.

На сегодняшний день исследователи смогли получить целый ряд экспериментальных образцов приборов на основе монослойного дисульфида молибдена, которые определили круг возможных применений этого материала. Среди таких применений можно назвать следующие: миниатюрные полевые транзисторы для дискретной логики [1], гибкие прозрачные транзисторы на основе дисульфида молибдена, графена и нитрида бора [2], сверхвысокая чувствительность к оптическому излучению определяет высокий потенциал к использованию дисульфида молибдена в фотодетекторах. Возможно также применение монослойных пленок MoS₂ в светодиодах, солнечной энергетике, устройствах флеш-памяти и т.д. К этому стоит добавить тот факт, что дисульфид молибдена работоспособен и устойчив, как соединение, в диапазоне температур от минус 80 до плюс 450°С.

Учитывая перспективность рассматриваемого материала, следует отметить, что экономическая целесообразность и возможность его применения в промышленных масштабах, определяются наличием технологических методов формирования монослойных пленок MoS₂ на больших подложках для использования в групповой технологии. В этой связи задача разработки промышленных методов формирования нанотолщинных пленок MoS₂ совершенной структуры является актуальной.

На основании проведенного литературного обзора можно выделить следующие возможные методы получения тонких пленок дисульфида молибдена:

Метод химического осаждения из газовой фазы – CVD (Chemical Vapour Deposition) [3], химический пилинг [4], механический пилинг [5], жидкостной пилинг [6], метод магнетронного распыления в вакууме [7] и другие методы. Основные методы, их режимы и особенности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ различных методов получения тонких пленок дисульфида молибдена.

Метод	Температура, С	Толщина, нм	Время, мин	Особенности
CVD [3]	650-1100	2-5	30	Возможность нанесения на большие подложки, высокая температура.
Химический пилинг [4]	50-225	0,5-1	60	Высокое качество пленок из нескольких слоев, низкая экологичность процесса.
Механический пилинг [5]	75-100	0,8	<15	Получение небольших образцов для экспериментальных устройств путем механического расщепления слоев по плоскости («скотч-метод»).
Жидкостный пилинг [6]	85	2,5	210	Низкая технологичность метода, формирование фрагментов пленок с различным количеством слоев.
Метод магнетронного распыления [7]	180	0,2-3, мкм	45	Возможность формирования поликристаллических и текстурированных пленок, высокая воспроизводимость процесса.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным для промышленной реализации является метод магнетронного распыления, обеспечивающий высокую воспроизводимость и стехиометрический состав покрытия. Таким методом, как правило, формируются поликристаллические пленки, поэтому для оценки возможностей метода применительно к получению совершенных монослойных пленок дисульфида молибдена на кристаллических подложках, необходимо усовершенствование метода и исследование процессов формирования пленок при наличии различных технологических факторов, обеспечивающих текстурирование и реализацию механизма эпитаксиального роста.

Литература

1. Eugene S.Kadantsev, Pawel Hawrylakb. Electronic structure of a single MoS₂ monolayer // Solid State Communications, 10.02.2012
2. Gwan-Hyoung Lee, Young-Jun Yu, Xu Cui; Flexible and Transparent MoS₂ Field Effect Transistors on Hexagonal Boron Nitride-Graphene Heterostructures; August 7, 2013
3. Manish Chhowalla¹, Hyeon Suk Shin, Goki Eda, Lain-Jong Li, Kian Ping Loh, Hua Zhang; The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets. 20 march 2013.
4. Zhiyuan Zeng, Ting Sun, Jixin Zhu, Xiao Huang. An Effective Method for the Fabrication of Few-Layer-Thick Inorganic Nanosheet // Nanyang Technological University Singapore, 2012.
5. Michele Buscema, Rianda Molenaar, Vibhor Singh, Laurens Janssen, Herre S. J. van der Zant and Gary A. Steele. Deterministic transfer of two-dimensional materials by all-dry viscoelastic stamping. KIN, Netherland 2014.
6. Deepesh Gopalakrishnan, Dijo Damien, and Manikoth M. Shaijumon. MoS₂ Quantum Dot-Interspersed Exfoliated MoS₂ Nanosheets; April 28, 2014.India.
7. Б.Ф. Есимович. Нанотекстурированные пленки дисульфида и диселенида вольфрама с фотоактивными свойствами-Диссертация, 2014.

Секция XII

Лазерные технологии в машиностроении

Председатель:

Григорьянц Александр Григорьевич

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Лазерные технологии в машиностроении»
(МТ-12), МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ученый секретарь:

Богданов Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные
технологии в машиностроении» (МТ-12), МГТУ им.
Н.Э. Баумана

УДК 535.361.1

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И КОМПОНЕНТОВ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Денис Андреевич Баранов ⁽¹⁾, Анна Владимировна Бурак ⁽²⁾

Студент 3 курса ^{(1), (2)}

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.М. Мельников

кандидат технических наук, ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В данной работе проведен обзор методов контроля качества многокомпонентных сред на примере коровьего молока. Приведен теоретический материал необходимый для проведения исследования, а также указаны необходимое оборудование, достигаемые точности, достоинства и недостатки, возможность количественного определения содержания основных компонентов продукта.

Уделено внимание лазерным методам, как наиболее перспективным для проведения контроля качества, как в лабораторных, так и в полевых условия. Рассмотрены возможности их применения для определения содержания компонентов продукта на различных предприятиях.

При проведении экспериментов под воздействием элемента Пелетье происходит изменение температуры, что приводит к фазовому переходу в молочной среде. В кювету с молоком направлен анализирующий луч в ИК-диапазоне, который после прохождения рассеивающей среды попадает на приёмник. Из экспериментальных измерений находятся значения коэффициентов отражения и преломления, после чего с их помощью вычисляются значения концентраций некоторых компонентов.

На основании приведенного обзора планируется разработка новых методов анализа состава полидисперсных сред.

УДК 621.791.725

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Алексей Александрович Быков

Студент 5 курса

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Д.С. Колчанов

аспирант кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В современном машиностроении становятся востребованными детали со сложной геометрией. Достаточно распространенным примером таких деталей могут быть сопла, элементы турбин и двигателей внутреннего сгорания, сложнопрофильные литейные формы, протезы и искусственные суставы. Процессы изготовления таких деталей традиционными методами достаточно трудоемки и требуют, помимо высокой точности производственного оборудования, больших временных затрат.

Селективное лазерное плавление (Selective laser melting – англ.) - технология выращивания изделий из металлических порошков на принципах, заложенных Карлом

Декардом в 80-х годах 20-го столетия, получила широкое развитие. С тех пор, осознав возможности технологии, разработкой и производством промышленных машин занимается ряд крупных зарубежных компаний.

Использование метода выборочного плавления порошков лазерным излучением, предположительно сократит время создания деталей при единичном и мелкосерийном производстве, сократит количество производственных отходов. Для данного процесса доступен широкий диапазон материалов. Также возможно снижение себестоимости деталей за счет уменьшения технологических этапов обработки.

В настоящий момент в России СЛП-установки не производятся. Высокая стоимость самих установок и материалов для выращивания, невозможность работы с порошками других производителей осложняет внедрение технологии в отечественную промышленность. Создаваемое экспериментальное оборудование не доводилось до стадии промышленных образцов. Но интерес к данной технологии в России за последние 5 лет заметно возрос, о чем говорит увеличение количества публикаций на данную тематику.

Целью данной работы является создание экспериментальной установки и подбор режимов обработки для послойного выращивания изделий и образцов из металлических порошков.

В ходе работы был разработан и собран экспериментальный лазерный стенд для изготовления деталей из металлических порошков. Проведена серия экспериментов по подбору режимов для сплавления металлических порошков. Проведены опыты по выращиванию пустотелых тонкостенных конструкций (Рис. 1) на подложках.

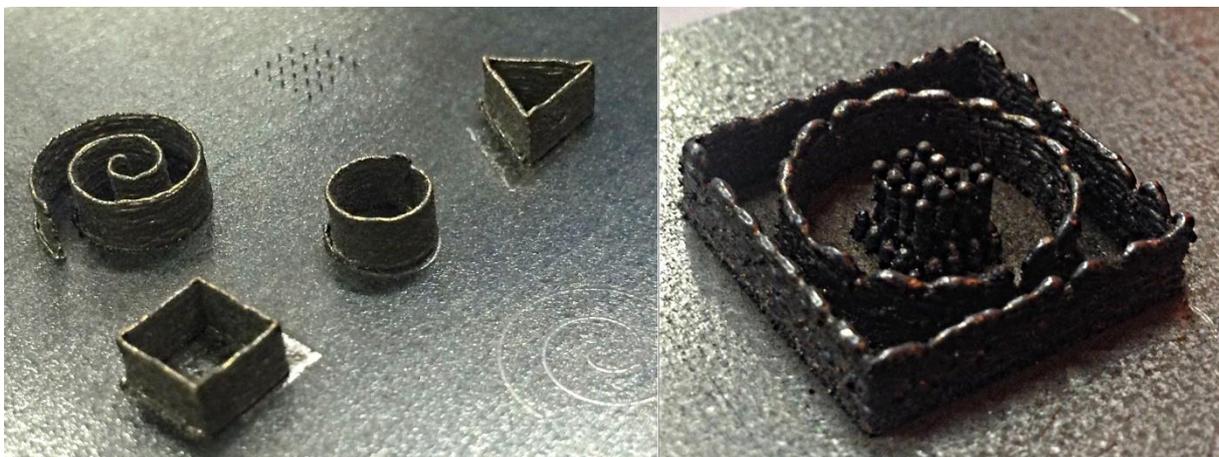


Рис. 1. Выращивание тонких стенок

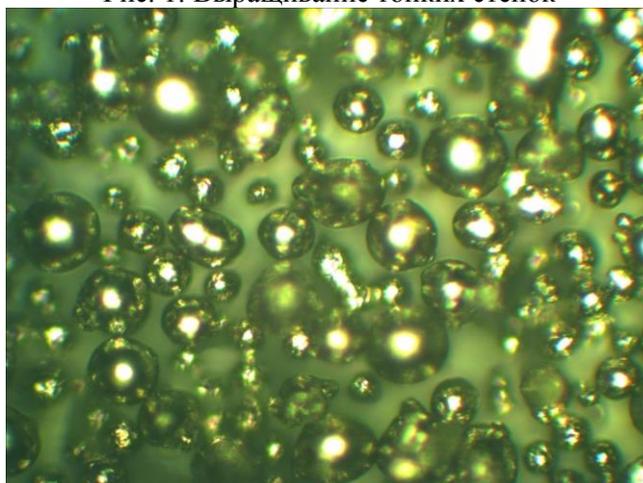


Рис. 2. Порошок AISI 316 с размером фракций 20...40 мкм

Исследования проводились применительно низколегированной стали типа AISI 316 с размером фракции 20...40 мкм (Рис. 2). Сталь этой марки устойчива к коррозии, высоким температурам и агрессивным средам. Аналог данной стали в России - 08X17H13M2 .

В ходе проведенной работы была спроектирована экспериментальная установка для создания деталей из металлических порошков. Удалось выяснить, что при помощи непрерывного одностороннего лазерного излучения возможно производить сплавление металлических порошков, причем возможно создание тонкостенных бразцов толщиной до 80 мкм.

Литература:

1. *А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюрюв.* Технологические процессы лазерной обработки. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, М.: 2008. 660 с.
2. *Lou, Alex.* "Selective Laser Sintering, Birth of an Industry". University of Texas at Austin. Retrieved 2 January 2014.
3. *И.В. Шишковский.* Лазерный синтез функциональных мезоструктур и объемных изделий. Физматлит. М.: 2009. 424 с.

УДК 539.23

СОЗДАНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Глеб Николаевич Дубровин⁽¹⁾, Александр Евгеньевич Шупенёв⁽²⁾, Иван Валерьевич Куликов⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾, аспирант 2 года⁽²⁾

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Богданов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Термоэлектрические явления в твердых телах находят применение в различных областях техники. Эффект Зеебека (термо-ЭДС) используется для преобразования тепловой энергии в электрическую. Перенос тепла электрическим током (эффект Пельтье) лежит в основе действия твердотельных охлаждающих и термостатирующих устройств [1].

Термоэлектрический модуль (Элемент Пельтье) представляет собой совокупность термопар, электрически соединенных, как правило, последовательно.

При прохождении через элемент Пельтье постоянного электрического тока между его сторонами образуется перепад температур -одна сторона (холодная) охлаждается, а другая (горячая) нагревается. Если с горячей стороны ТЭМ обеспечить эффективный отвод тепла, например, с помощью радиатора, то на холодной стороне можно получить температуру, которая будет на десятки градусов ниже температуры окружающей среды. Степень охлаждения будет пропорциональной величине тока. При смене полярности тока горячая и холодная стороны элемента Пельтье меняются местами[2].

Многие задачи, которые практика ставит перед разработчиками термоэлектрических устройств, могут быть успешно решены с применением пленочных термоэлементов (ПТЭ) и пленочных термобатарей (ПТБ). На основе ПТБ могут быть изготовлены малогабаритные источники питания, слаботочные микрохолодильники и термостаты, высокочувствительные и достаточно малоинерционные датчики температуры и теплового потока и т.п.[1,3,4,5]. Вакуумные технологии изготовления улучшают качество ПТБ, позволяют достичь высокой

точности осаждения полупроводников на полиимидные подложки. Одной из таких технологий является импульсное лазерное осаждение (ИЛО).

Импульсное лазерное осаждение (с англ. PLD – «Pulsed Laser Deposition») – уникальный технологический процесс, позволяющий наносить на поверхность деталей обладающие специальными свойствами материалы (металлы, карбиды и т.п.), добиваясь, таким образом, восстановления геометрии, повышения поверхностной прочности, коррозионной устойчивости, снижения трения и прочих эффектов [6].

В работе [6] методом импульсного лазерного осаждения получены тонкие пленки термоэлектрического материала на основе теллурида висмута Bi_2Te_3 . Исследованы зависимости влияния технологических параметров на качественные параметры получаемых слоев, проведён анализ стехиометрии и шероховатости поверхности. Однако, для создания ПТБ необходимо решить вопрос о подключении изготавливаемого модуля к источнику постоянного тока (в случае эффекта Пельтье) или к питаемому прибору (в случае эффекта Зеебека). Для обеспечения теплового и электрического контакта необходимо создать зону проводника на полиимиде.

Полиимид фольгированный марок ПФ-1, ПФ-2 представляет собой композиционный материал, состоящий из полиимидной пленки и клея на основе эпоксидно-каучуковой композиции, облицованный с одной или двух сторон медной электролитической фольгой с гальваностойким покрытием. Предназначен для изготовления гибких печатных плат, кабелей, шлейфов. На таком полиимиде представляется возможным создать необходимые зоны контакта проводника.

На основе анализа существующих методов получения токопроводящего рисунка на поверхности фольгированного полиимида был выбран метод химического травления с использованием пленочного фоторезиста. Этот метод, по сравнению с другими, не требует наличия специального оборудования и может быть реализован в лабораторных условиях.

Экспериментально выявлены зависимости качества поверхности и геометрической точности токопроводящего рисунка от времени экспонирования и времени травления. Время экспонирования влияет на геометрическую точность, наиболее целесообразный диапазон засветки получился равным 1 мин для ультрафиолетовой лампы мощностью 26 Вт, находящейся на расстоянии 100 мм от образца. Время травления влияет на качество поверхности будущего модуля, наличие пор недопустимо потому, что они могут повлиять на контакт полупроводника с медью и привести к разрыву цепи. Оптимальное значение времени химического травления образца из фольгированного полиимида 30-40 минут в растворе FeCl_3 при температуре 30-40 °С.

Литература

1. Гольцман Б.М., Дашевский З.М., Кайданов В.И., Колomoец Н.В. Пленочные термоэлементы: физика и применение. М. Наука. 1985. 233 с.
2. Устройство термоэлектрического модуля (Элемента Пельтье) // <http://kryothermtec.com> URL: <http://kryothermtec.com/ru/technology> (дата обращения: 16.03.2015)
3. H. Stachowiak, S. Lassue, A. Dubernard, E. Gaviot / A thermoelectric sensor for fluid flow measurement. principles, calibration and solution for self temperature compensation // Flow Measurement and Instrumentation – V.9. – №3. – 1998. – p 135–141.
4. F. Rettig, R. Moos / Direct thermoelectric gas sensors: Design aspects and first gas sensors // Sensors and Actuators B – V.143. – №1. – 2007. – p 413–419.
5. R. Buchner, K. Froehner, Ch. Sosna, W. Benecke, W. Lang / Toward Flexible Thermoelectric Flow Sensors: A New Technological Approach // Journal of Microelectromechanical Systems – V. 17. – № 5. – 2008. – p 1114–1119.

6. *Шупенев А. Е.* Особенности формирования субмикронных пленок теллурида висмута методом импульсного лазерного осаждения: магистерская диссертация. МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 2013. 100 с.
7. Полиимид фольгированный марок ПФ-1, ПФ-2 // <http://laborant.ru> URL: <http://laborant.ru/eltech/21/2/3/07-96.htm> (дата обращения: 16.03.2015)
8. *С. Маркин* / Как травить платы // Химия и Жизнь. № 7. 1990. с 76-77.
9. Фоторезист // Википедия. [2015]. Дата обновления: 31.01.2015.
URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=68290990> (дата обращения: 16.03.2015).

УДК 621.373.826

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Александр Михайлович Кулиш

Студент 4 курса

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Мисюров

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Появившиеся в конце 80-х, аддитивные технологии в наше время являются перспективными технологиями для мелкосерийного и единичного производства в различных областях машиностроения, медицины, самолето- и ракетостроения. Аддитивные технологии являются принципиально новыми методами в производстве различного рода изделий, в том числе и металлических. Их использование допускает как непосредственно создание изделий "с нуля", так и обработку уже имеющихся.

В данной работе уделено внимание аддитивным технологиям предусматривающим формирование детали переплавом металлопорошкового материала лазерным излучением. По методам формирования слоя существует два вида аддитивных технологий. Первый вид носит также название "селективный синтез" или "селективное лазерное спекание". Вторым можно назвать как "непосредственное осаждение материала", в котором не формируется слой материала перемещением лазерного излучения в соответствии с моделью, а материал подается непосредственно в зону куда подается и лазерное излучение. В обоих случаях готовая деталь получается скреплением (склеиванием, сплавлением) частичек порошка в соответствии с требуемым сечением модели.

Аддитивные технологии являются сильно развивающимися в настоящее время для изготовления различного рода деталей, в частности, благодаря росту номенклатуры различных порошковых материалов. Также, анализ и ряд опытов показывают, что во многих случаях применение аддитивных технологий позволяет получать изделия экономически более выгодными, с лучшими показателями качества и с приемлемыми параметрами (масса, сложность формы).

Но, несмотря на все значительные преимущества аддитивных технологий, существует много проблем, связанных с получением требуемых качеств и свойств деталей. Опыт работ в МГТУ и данные многих научно-исследовательских работ показывают низкую технологическую прочность выращиваемых деталей, особенно на основе никеля. Это и трещинообразование, порообразование, наличие дефектов в зависимости от фракционного состава, неоднородностей

порошка. Поэтому, целью данной работы является выявление технологических особенностей формирования деталей из порошка на основе никеля.

Никель и сплавы на его основе являются жизненно важными для современной промышленности из-за их способности выдерживать широкий спектр операционных нагрузок с участием как агрессивных сред, так и высоких температур, а также комбинации этих факторов [1].

Существует несколько способов получения металлопорошковых материалов на основе никеля, в зависимости от которых, порошки находят свое применение в разных областях промышленности и машиностроения. К ним относятся:

- карбонильный метод (метод получения порошков путем разложения тетракарбонил никеля NiCO_4);
- гидрометаллургический метод (металлосодержащий материал подвергается процессу восстановления);
- механический метод размол в мельницах;
- механический метод получения порошков атомизацией (диспергирование расплавов посредством струи газа или жидкости);
- электролитический метод (разложение водных растворов соединений никеля) [2].

Наиболее распространенной проблемой в применении данного вида технологий является трещинообразование в никелевом материале формообразующих слоев получаемых деталей, а точнее, высокая склонность к трещинообразованию.

В МГТУ имени Н. Э. Баумана на протяжении нескольких лет проводили работы по объемному выращиванию деталей [3-4] и по исследованию технологической прочности сплавов систем легирования Ni-Cr-B-Si [5]. Изучив топографию поверхности трещин, было установлено, что трещины носят кристаллизационный характер [6].

Особенность разрушения наплавленных слоев связана с немонотонным изменением пластичности при охлаждении наплавленного металла (существуют "провалы" пластичности).

Проведенный анализ позволил наметить пути повышения технологической прочности деталей из порошков на никелевой основе. Уменьшения вероятности появления кристаллизационного надрыва можно добиться уменьшением температурного интервала хрупкости (ГИХ), увеличением минимальной пластичности и снижением внешнего темпа деформаций.

Немаловажную роль на склонность к трещинообразованию играет химический состав материала. Так, увеличение содержания углерода в составе металлопорошкового материала увеличивает склонность к трещинообразованию [6].

В заключение, стоит отметить важность работ в данном направлении для повышения эффективности применения аддитивных технологий не только с экономической точки зрения, но и со стороны технологических свойств получаемых изделий. Прежде всего, необходимо разработать методику оценки сопротивляемости образованию трещин в процессе формирования изделий переплавом порошкового материала.

Литература

1. Properties of Nickel Alloys, ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys, J.R. Davis, Ed., ASM International, 2000, p 8-10.
2. Neikov O.D., Naboychenko S.S., Dowson G. Handbook of non-Ferrous Metal Powders. Technologies and Applications/Amsterdam: Elsevier, 2009, p 368-406.
3. Шуганов И.Н., Мисюров А.И. Современные методы и оборудование для объемного формообразования деталей лазерным переплавом металлических порошков. Лазер-Информ, №5-6(284-285), март, 2004г., с. 1-3.

4. Григорьянц А.Г., Мисюров А.И., Третьяков Р.С. Анализ влияния параметров коаксиальной лазерной наплавки на формирование валиков. Технология машиностроения, №11, 2011, с. 19-21.
5. Григорьянц А.Г., Мисюров А.И. Возможности и перспективы применения лазерной наплавки. Технология машиностроения, 2005, №10 с. 52-56.
6. Григорьянц А.Г., Мисюров А.И., Чжан Цин Формирование наплавленных слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения. Сварочное производство, №8, 2007, с. 18-21.

УДК 621.83

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ КОНТУРНОЙ РЕЗКИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

Константин Сергеевич Левушкин⁽¹⁾, Дамир Раильевич Подмарев⁽²⁾, Николай Александрович Крылатов⁽¹⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 5 курса⁽²⁾

кафедра «Материаловедение и ОМД»

Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: М.В. Кокорин

аспирант кафедры «Материаловедение и ОМД»

Развитие современного приборостроения определяется уровнем современного технологического и инструментального обеспечения реальных технологических процессов. Лазерная резка и устройство для его осуществления может быть использовано в производстве для оперативного и высокоточного изготовления сложно-контурных деталей из листовых заготовок [1].

Развитие надежных и мощных лазеров, работающих в непрерывном и импульсном режиме, прежде всего Nd:YAG и CO₂ лазеров, позволило осуществить широкий диапазон технологических операций, вовлекающий управляемое лазером разделение материалов.

В то же время применение лазерного излучения для разделения материалов нельзя считать универсальным средством, с помощью которого можно решить все проблемы, связанные с проведением того или иного процесса. В частности, необходимость фокусировки излучения для достижения высоких значений плотности мощности потока предполагает расхождение пучка за плоскостью фокусировки, т.е. резкое снижение плотности мощности. Несмотря на то, что в ряде случаев в полученном материале под действием излучения в канале могут проявляться его волноводные свойства, значительно увеличивающие глубину проникновения излучения в вещество, глубина обработки имеет ограничение, связанное как с естественной расфокусировкой пучка, так и с поглощением части излучения на стенках канала.

К основным недостаткам лазерных методов обработки также относят высокую стоимость оборудования и низкий КПД лазерных установок.

В общем случае качество лазерной резки может быть определено следующими главными параметрами [2]:

7. ширина реза на передней b_n и на задней b_z сторонах и Δb ,
8. неровность краев R_z ,
9. ширина зоны теплового воздействия Δr_h ,
10. радиус плавления передней стороны R ,
11. количество отходов (грата) m ,

12. микрогеометрия внутренней поверхности реза (бороздки) S ,
13. лаг реза (отставание реза на задней поверхности относительно передней) j .

Уменьшение зоны теплового воздействия (ЗТВ) $h_k \sim \sqrt{at}$, включая плавление, окисление и нагревание, зависит, прежде всего, от длительности импульса t , чрезмерная длительность импульса так же важная причина плавления передней поверхности вырезки.

Чтобы увеличивать возможности резки предложено использовать механическую активацию зоны воздействия, за счет ударного воздействия на поверхность металлопроката, при этом наблюдается искажение кристаллической решетки металла, увеличение прочности и, как следствие, существенное уменьшение теплопроводности материала.

Обнаруженный эффект позволяет повысить качество контурной лазерной резки и уменьшить потребляемую мощность лазерного излучения.

Литература

1. *В.С.Коваленко, В.В.Романенко, Л.М.Олещук* "Малоотходные процессы резки лучом лазера".-К.: Техника. 1987. 100с.
2. *А.Ю. Лоскутов, А.С.Михайлов*, "Введение в синергетику" - М.: Наука. 1990, 122с.

УДК 621.373.826

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ГАЗОПОРОШКОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ В ПОЛОСУ

Константин Игоревич Макаренко

Студент 4 курса

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Я. Ставертий

ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Газопорошковая лазерная наплавка (далее - ГПЛН) заключается в получении поверхностных покрытий принудительной подачей порошка газовым потоком непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в зоне лазерного излучения вплоть до попадания на обрабатываемую поверхность, на которой они достигают полного расплавления с последующей кристаллизацией и формированием валика.

ГПЛН в полосу (широкую линию) является более производительной технологией по сравнению с обычной ГПЛН, при которой спеченный порошок описывает некую покрывающую обрабатываемую поверхность детали узкую кривую, поскольку при ГПЛН в полосу покрытие всей обрабатываемой поверхности происходит за значительно меньшее число проходов при приблизительно одинаковых затратах порошка (рис. 1). Таким образом, имеет место экономия времени и дорогостоящей энергии лазерного источника.

Схемы формирования валиков на валу при:

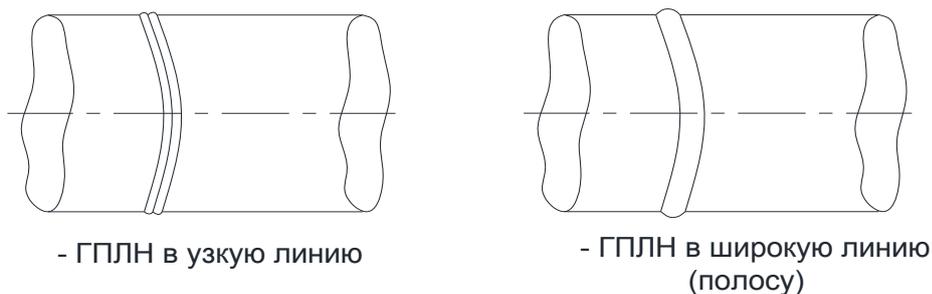


Рис. 1. Схемы формирования валиков на валу при двух различных типах ГПЛН

На данный момент существует определенное количество различных типов лазерных головок с прямоугольной апертурой, совмещенных с порошковыми соплами. В данной же работе разработана конструкция порошкового сопла для оснащения им головы диодного лазера с прямоугольной апертурой (рис.2), что позволит осуществлять ГПЛН в полосу при использовании данного диодного лазера. Сопло имеет форму, благоприятствующую равномерному вылету порошка, для равномерного же поступления порошка внутрь сопла последнее оснащено четырьмя входными отверстиями под фитинги с резьбой М3.

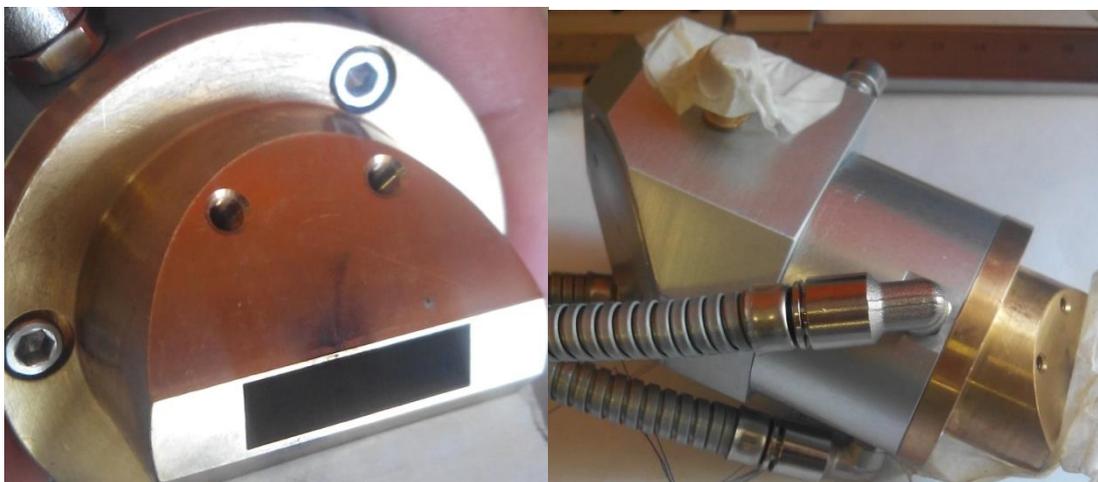


Рис. 2. Фотографии головы диодного лазера

На рис.3 изображен опытный образец разработанного порошкового сопла, изготовленный из стали с применением технологических операций лазерной резки и сварки. Однако для использования в промышленности рекомендуется изготавливать сопло из чистой меди или сплавов на основе меди (например, из латуни) для лучшего отвода тепла. Технология изготовления сопла в этом случае не должна включать в себя использование лазерных источников, так как медь имеет крайне низкий коэффициент поглощения лазерного излучения. При изготовлении сопла из меди или сплава на основе меди рекомендуется применять обработку фрезерованием на фрезерном станке.



Рис. 3. Фотографии опытного образца порошкового сопла

Разработана экспериментальная схема установки для оценки параметров газопорошкового потока, создан соответствующий измерительный стенд (рис.4). Оборудование: порошковый питатель GTV PF 2/2 вместе с трубками для подачи порошка и соединительными фитингами, скоростная камера Fastvideo 500M, оснащенная объективом Nikon CL-45, портативный диодный фонарь DNS, измерительная линейка, штативы для камеры и порошкового сопла. На рис. 5 приведены примеры кадров, сделанных скоростной камерой в ходе эксперимента. В статье приводятся результаты измерений геометрических параметров газопорошкового потока для каждого режима подачи порошка. В испытаниях использовался порошок на никелевой основе с размером фракций 50...106 [мкм].

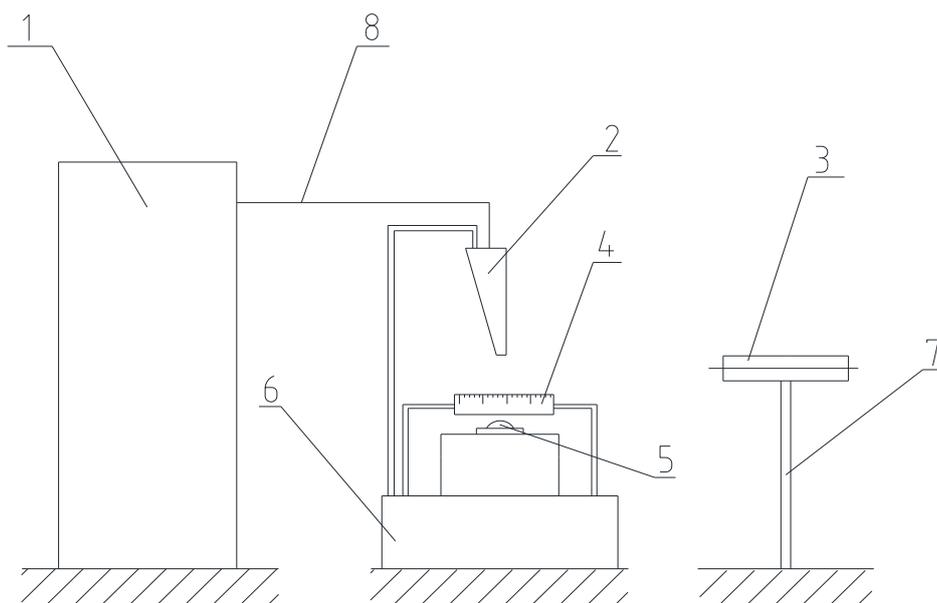


Рис. 4. Схема измерительного стенда для оценки параметров газопорошкового потока (пропорции изменены для наглядности)

Позиции на схеме:

- 1 - порошковый питатель;
- 2 - порошковое сопло;
- 3 - скоростная камера;
- 4 - измерительная линейка;

- 5 - источник света;
- 6 - стол;
- 7 - штатив;
- 8 - порошковый шланг.

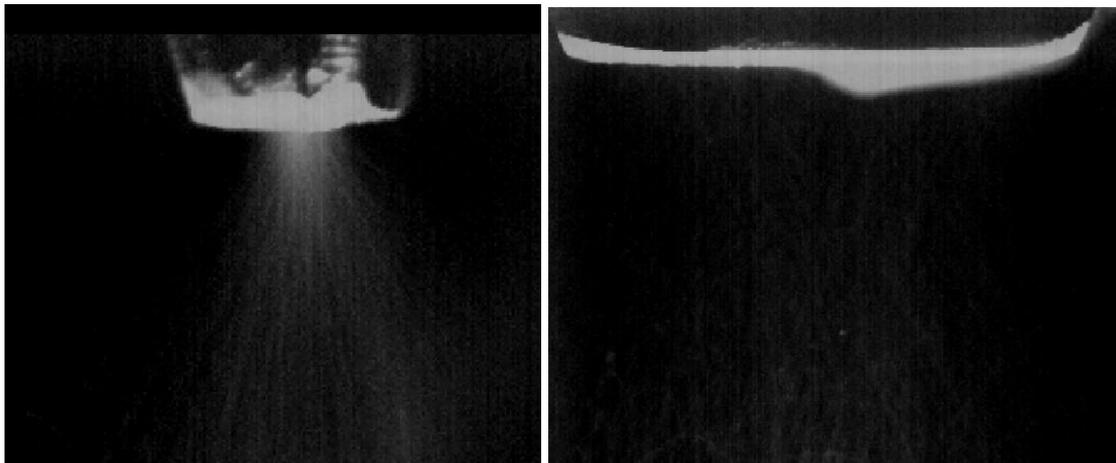


Рис. 5. Примеры кадров, полученных с помощью скоростной камеры

На основании анализа результатов съемки можно сделать заключение о том, что поперечное сечение струи порошка имеет форму, приближенную к эллиптической. В непосредственной близости от сопла сказываются краевые эффекты: линейные размеры струи в поперечном сечении близки к размерам выходного окна. Далее, в одной проекции наблюдается резкое расширение струи, а в другой - сужение вплоть до перетяжки и дальнейшее расширение потока. Также можно сделать вывод о том, что сопло герметично, потерь порошка на пути от питателя до апертуры сопла нет.

Большим недостатком сопла является то, что после его прохождения порошок рассыпается под недопустимо большим углом. Меры, предпринятые для устранения этого недостатка, представлены в полном тексте статьи.

Обслуживание оборудования и технологические особенности процесса ГПЛН в полосу не имеют отличий от обычной ГПЛН. Для того, чтобы в ходе обработки исключить потери порошка при его транспортировке от порошкового питателя в рабочую зону, следует периодически проверять затяжку резьбы на фитингах.

Технология ГПЛН в полосу имеет большие перспективы для применения как в серийном, так и в массовом производстве. Высокая производительность процесса позволяет заменить плазменную и электродуговую наплавку лазерной с обеспечением более высокого качества наплавленного слоя и меньшими тепловыми воздействиями на деталь. Высоки перспективы применения данной технологии для обработки крупногабаритных деталей, что связано опять же с высокой производительностью процесса.

Литература

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – С. 323-333.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С. 281-288.
3. Асютин Р. Д., Ставертий А. Я. Экспериментальное исследование газопорошкового потока при лазерной наплавке с использованием различных технологических насадок. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции

«Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.– № гос. регистрации 0321400749. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=1043

УДК 539.234

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК**

Людмила Михайловна Ремез⁽¹⁾, Александр Евгеньевич Шупенёв⁽²⁾, Иван Валерьевич Куликов⁽³⁾

Студент 6 курса⁽¹⁾, аспирант 2 года^{(2), (3)}

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Богданов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

ИЛО является одним из наиболее широко используемых методов при решении исследовательских задач связанных с разработкой методик формирования тонких пленок и исследования их свойств.

Модуль PLD является полностью автоматизированным модулем импульсного лазерного осаждения (Pulsed Laser Deposition – PLD) с эксимерным KrF лазером. Модуль PLD позволяет осаждать монослои, многослойные структуры и комбинированные слои из различных материалов с неоднородностью по толщине < 5 %.

Комплекс НАНОФаб обладает набором управляемых параметров, позволяющих менять условия осаждения пленок в широких диапазонах. Можно выделить несколько наиболее важных параметров:

- параметры лазерного излучения
- расстояние между мишенью и подложкой
- движение сканатора, мишени и подложки
- наличие газов в камере
- температура подложки

Параметры лазерного излучения. Влияние энергии импульса лазерного излучения имеет пороговый характер. Для каждого материала имеется свое минимальное значение энергии, необходимое для испарения материала.

Выделяют 3 режима:

- мягкий
- средний
- жесткий

На мягких режимах продукты лазерной эрозии состоят из легкодисперсной структуры и каплевидной фракции, при осаждении формируется пучковая структура пленки. Мягкие режимы используются для напыления однокомпонентных материалов, позволяют напылять стехиометрические слои многокомпонентных соединений.

При осаждении на средних режимах при испарении происходит диссоциация, а при конденсации – ассоциация атомов в молекулы. Средние режимы используются при напылении многокомпонентных полупроводниковых слоев.

Процесс напыления на жестких режимах (лазерно-плазменное напыление) соответствует процессу термовзрыва. Данному процессу присущи уникальные свойства: отсутствие нагрева конструктивных элементов в камере, вследствие чего обеспечивается высокая чистота пленок,

высокие скорости напыления, возможность испарения даже самых тугоплавких веществ, возможность конгруэнтного напыления.

Влияние температуры на скорость образования пленки: коэффициент диффузии, количественно характеризующий скорость диффузии атомов на поверхности подложки, будет пропорционален температуре. На величину адсорбции температура влияет следующим образом: чем выше температура, тем активнее броуновское движение молекул, тем больше десорбция и меньше адсорбция.

Влияние температуры также стоит отметить на этапе зародышеобразования. Увеличение температуры подложки приведет к увеличению размера критического зародыша. Кроме того, островковая структура будет сохраняться до больших средних толщин, чем те, которые соответствуют низким температурам.

Важной отличительной особенностью метода ИЛО является возможность подачи газов - процесс осаждения пленок можно проводить в широком диапазоне давлений фонового газа, от глубокого вакуума, до давлений ~ 1 Торр. Это позволяет получать пленки из материалов, которые имеют высокое давление насыщенных паров некоторых элементов из их состава.

Расстояние подложка-мишень (H): чем ближе к мишени находится подложка, тем больше частиц попадут на поверхность, следовательно будет выше скорость роста пленки. Но за счет малого расстояния до подложки будут долетать более крупные частицы (капли), что ухудшает свойства пленки, создавая дефекты поверхности.

Движение сканатора (по горизонтальной оси) в сочетании с вращением мишени обеспечивает равномерное использование материала мишени по всей ее площади (размер может меняться, и в соответствии с размером мишени задается траектория движения луча). При добавлении вращательного движения подложки можно обеспечить равномерное осаждение пленки по всей поверхности подложки.

УДК 53.084.823

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В КОЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА

Андрей Борисович Садков

Студент 3 курса

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.А. Якимова

ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Рефрактометрия широко применяется при определении концентрации вещества.

Показатель преломления – это характеристика оптических свойств среды, зависящая от ее состава, а именно от диэлектрической и магнитной проницаемости. Если среда неоднородная, а в ней находятся частицы, то коэффициент преломления будет отличаться от коэффициента преломления жидкости и частиц. Для очень маленьких частиц этот коэффициент преломления определяется [1] по формуле

$$\Delta n_{eff} = n_m \left(1 + \frac{3}{2} \frac{k}{x_m^3} \right) f \quad (1)$$

где Δn_{eff} -показатель преломления, k – коэффициент рассеяния вперед, f – объемная концентрация частиц, x – параметр размера, определяемый по формуле

$$x = k_0 n_m a, \quad (2)$$

где

$$k_0 = 2\pi / \lambda \quad (3)$$

Формула (1) показывает, что если измерять показатель преломления коллоидного раствора при помощи обычного рефрактометра, в результате получится величина, отличающаяся от показателя преломления частиц и окружающей их жидкости. Поскольку в уравнение входит несколько неизвестных величин, для определения показателей преломления частиц и жидкости нужно провести несколько независимых измерений. Первое – это определение самого эффективного показателя преломления. Для проведения этих измерений был использован рефрактометр, источником излучения в котором является лазер. Второе – определение коэффициента рассеяния вперед. Эти эксперименты были выполнены при помощи специально сконструированной фотометрической установки. Измерить коэффициент рассеяния вперед не просто, потому что технически сложно полностью устранить влияние многократного рассеяния [2]. Установки сконструированы таким образом, что определенный на фотометре коэффициент рассеяния совпадает с коэффициентом, получающимся при рассеянии излучения в пробе рефрактометра.

Для проверки правильности работы системы были проведены измерения на монодисперсном латексе, показатель преломления и размеры частиц которого известны. По специально разработанной методике были проведены эксперименты, которые показали, что погрешность измерений составляет 0.05%.

После были проведены эксперименты на частицах, имеющих разный размер, а именно на частицах белка молока. Как говорят данные литературы, частицы жира не оказывают влияния на результаты измерения показателя преломления. Показатель преломления зависит от белков и воды с растворенными солями. Результаты экспериментов говорят о том, погрешность определения концентрации белка составляет 0.03%, что ниже, чем погрешность стандартного молочного рефрактометра.

Литература

1. Roberto Márquez Islas, Celia Sánchez Pérez, Augusto García Valenzuela Particle sizing in polymeric nanofluids from effective refractive index measurements Latin America Optics and Photonics Conference (LAOP), OSA 2014
2. Г. ван де Хюлст Рассеяния света малыми частицами. - М. Издательство иностранной литературы, 1961 г - 536 с.

УДК 621.375.826

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ (ИЛА) В ЖИДКОСТИ В НАНО- И ФЕМТОСЕКУНДНЫХ РЕЖИМАХ

Татьяна Юрьевна Сидоровнина⁽¹⁾, Валерия Анатольевна Тимошенко⁽²⁾ Александр Николаевич Савкин⁽³⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾, студент 5 курса⁽²⁾, аспирант 3 года⁽³⁾
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»

Целью работы является получение металлических наночастиц методом ИЛА в жидкости на различных режимах обработки, а также, сравнение параметров полученных частиц.

В качестве материала мишени были выбраны такие металлы, как золото и серебро. Выбор таких материалов обусловлен известными значениями пиков поглощения для данных частиц. Эффект поверхностного плазмонного резонанса (ППР) для золотых и серебряных наночастиц различных размеров достаточно изучен и описан в ряде работ. Таким образом, в работе приводятся результаты по измерению спектров поглощения полученных наночастиц.

Первым выбранным источником для ИЛА в жидкости является импульсный Nd:YAG-лазер LQ829 фирмы SOLAR LS с длиной волны 532 нм (вторая гармоника), длительностью импульса 10 нс, частотой повторения импульсов 10 Гц и энергией в импульсе 500 мДж. В качестве второго источника лазерного излучения использован импульсный фемтосекундный лазер с диодной накачкой S-Pulse HR фирмы Amplitude Systemes. Длина волны излучения, которого составляет 1030 нм, длительность импульса до 500 фс, частота следования импульсов 300 кГц и энергией в импульсе 40 мДж.

Наночастицы получены в виде коллоидных растворов. В качестве растворителя применялись: дистиллированная вода и раствор 30 % глицерина в дистиллированной воде. Рабочий объем жидкости составил 25 мл на всех режимах обработки.

После получения наночастиц в виде коллоидных растворов на первом этапе проводится неразрушающий контроль одного из параметров системы – измерение спектра поглощения наночастиц, выявление наличия эффекта ППР. Измерены спектры поглощения серебряных наночастиц в растворе 30 % глицерина (рисунок 1) и золотых наночастиц в дистиллированной воде (рисунок 2), полученных на фемто- и наносекундных режимах.

Как для серебряных, так и для золотых наночастиц наблюдается сдвиг плазмонного резонанса в длинноволновую область. Пик поглощения для серебряных частиц расположен на длинах волн равных 422 – 425 нм (наносекундный режим) и 437 – 440 нм (фемтосекундный режим). Явный пик поглощения для золотых наночастиц разрешился на длинах волн 524 – 529 нм (наносекундный режим) и 546 – 549 нм (фемтосекундный режим).

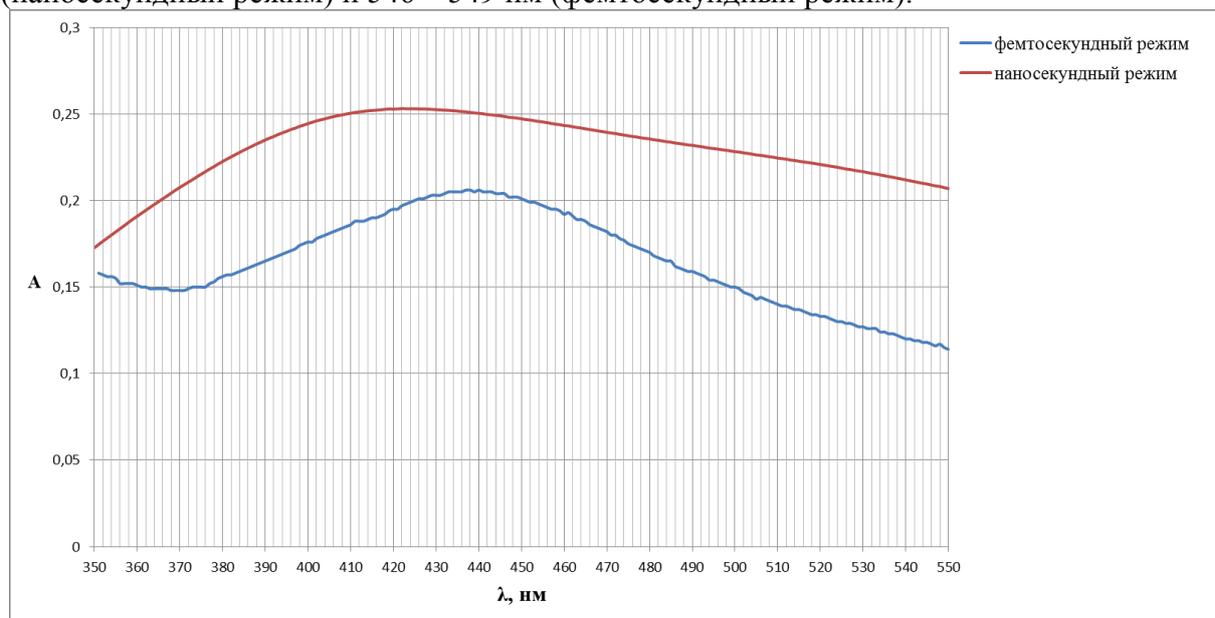


Рис. 1. График спектров поглощения серебряных наночастиц, полученных в растворе 30 % глицерина при фемто- и наносекундных режимах.

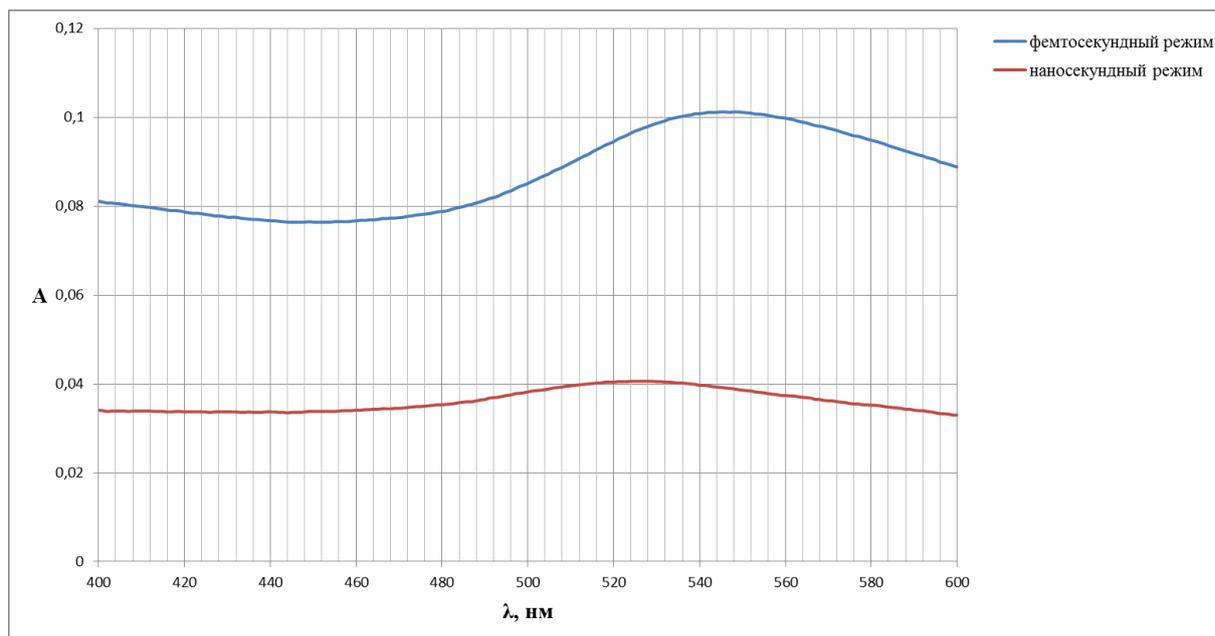


Рис. 2. График спектров поглощения золотых наночастиц, полученных в дистиллированной воде при фемто- и наносекундных режимах.

Наблюдаемое различие оптических плотностей A , указанных по вертикальной оси на рисунках 1 и 2, может объясняться различной концентрацией наночастиц в объеме коллоидного раствора. Концентрация наночастиц зависит от режима обработки, времени обработки, состояния поверхности мишени, а также производительности лазера. Контроль эффекта ППР важен и обуславливается дальнейшим применением полученных наночастиц.

Таким образом, в работе выявлено влияние режима обработки на положение пика поглощения для различных материалов.

УДК 621.375.826

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАСТВОРИТЕЛЯ НА ФОРМУ МЕДНЫХ НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Татьяна Юрьевна Сидоровнина⁽¹⁾, Валерия Анатольевна Тимошенко⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾, студент 5 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»

Современные технологии с течением времени стремятся к миниатюризации. С каждым годом размер электронных и вычислительных устройств уменьшается, а количество их функций возрастает. Неотъемлемо с данным процессом возрастает интерес к развитию нанотехнологий и их внедрению в производство.

Медь чаще всего встречается в электронике, обладает высокой тепло- и электропроводностью. При этом достаточно быстро покрывается окисной пленкой на воздухе. Авторы данной работы посвятили особое внимание получению наночастиц (НЧ) меди методом импульсной лазерной абляции (ИЛА) в жидкой среде с минимальным содержанием кислорода воздуха.

В ходе научной работы и экспериментов была поставлена цель: выявить зависимость параметров образующихся НЧ меди от характеристик процесса ИЛА, так же включающих в себя параметры используемой жидкой среды.

НЧ меди синтезировались в двух различных средах при помощи второй гармоники Nd:YAG-лазера с длиной волны 532 нм. В качестве основы первой жидкой среды была выбрана вода полученная, при помощи системы очистки Synergy UV-R фирмы Millipor (вода высокой очистки). Второй основой являлась вода, прошедшая промывку гелием. Атомы гелия эффективно «выталкивают» из матрицы молекул воды частицы исходно растворенного газа, при этом происходит замещение атмосферного воздуха, исходно растворенного в жидкости, на гелий.

Полученные коллоидные системы на основе воды промытой гелием, являлись наиболее стабильными (имели меньшую скорость коагуляции) и наиболее насыщенный оттенок. В качестве метода контроля применялась просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Как видно из рис.1 НЧ меди в обычной очищенной воде имеют форму близкую к сферической, при этом наблюдается достаточно широкий разброс размеров.

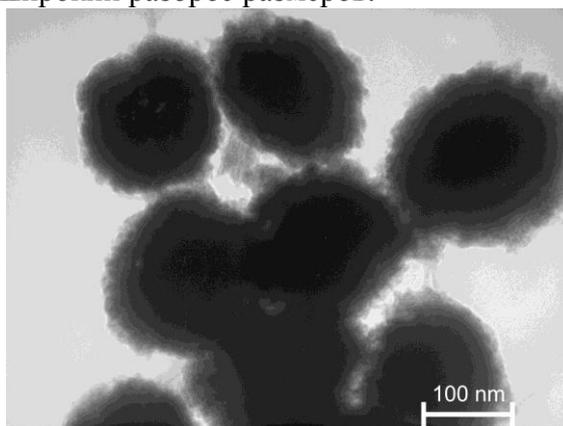


Рис. 1. Изображение с ПЭМ НЧ меди, полученных в воде высокой очистки. Исследование образцов проводилось на базе лаборатории НИИ Сельскохозяйственной технологии.

Диапазон размеров полученных НЧ был оценен при помощи метода динамического рассеяния света на базе лаборатории оптико-спектральных приборов ВНИИОФИ и для воды высокой очистки составил от 95 до 155 нм.

НЧ меди, синтезированные в воде, промытой гелием, имеют характерную зерновидную форму (Рис.2).

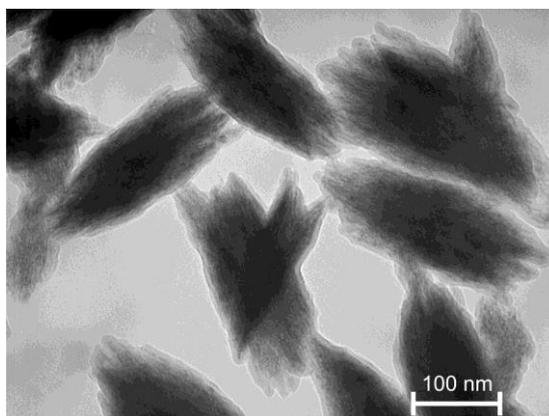


Рис. 2. Изображение с ПЭМ НЧ меди, полученных в воде, промытой гелием. Исследование образцов проводилось на базе лаборатории НИИ Сельскохозяйственной технологии.

Наблюдается стабильность размеров, как в продольном, так и в поперечном сечении. Размер продольного сечения составил порядка 300 нм, поперечного – 100 нм. Так же зафиксирована волокнистая структура НЧ (каждая НЧ меди стоит из нескольких продольных волокон). Появление данной структуры и изменение формы возможно связано с наличием кислорода, растворенного в жидкости, используемой в качестве основы для коллоидной системы. В этом случае можно сделать вывод о влиянии качества жидкой среды и количества растворенного в ней газа на параметры образуемой коллоидной системы.

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) МГТУ им.
Н.Э.Баумана

УДК 621.9

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОКАРНОГО СТАНКА ТПК 125-ВМ

Артём Валерьевич Валяйчиков

Студент 4 курса

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Б. Есов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Одним из важнейших факторов повышения эффективности производства является научно-технический прогресс. Чтобы оставаться конкурентоспособным, предприятиям необходимо внедрять новую технику и технологии. Со временем техника изнашивается. Однако не только физический, но и моральный износ требует от предприятия замены оборудования, которое не исчерпало свой ресурс, и является менее производительным по сравнению с новыми моделями. Одним из методов решения данной проблемы является модернизация устаревшей техники, которая позволяет повысить технический уровень и эксплуатационные характеристики оборудования без значительных затрат.

В данной работе показан технологический процесс модернизации токарного станка ТПК 125-ВМ. Станок предназначен для высокоточной обработки малогабаритных деталей сложного профиля из различных конструкционных сталей и сплавов. Обладает значительным запасом прочности и жесткости механических частей. Для повышения эффективности работы оборудования были проведены следующие этапы работ:

- Поиск неисправностей, выявление основных дефектов
- Подготовка конструкторской документации, составления плана работ
- Закупка комплектующих для модернизации станка
- Разборка и очистка станка, демонтаж узлов необходимых к замене
- Установка двигателей
- Установка системы ЧПУ Flex NC
- Установка системы охлаждения ионизированным воздухом
- Обеспечение возможности нарезания резьбы за счет создания более жесткой связи между двигателем и шпинделем станка
- Оснащение защитным кожухом
- Наладка станка и его диагностика

Литература

1. Модернизация станков. [Электронный ресурс] // Сервоурал [Официальный сайт]. URL: <http://www.servoural.ru/upgrading>
2. Модернизация металлообрабатывающего оборудования. . [Электронный ресурс] // Журнал «Экспозиция Металлообработка» [Официальный сайт]. URL: <http://www.mmsv.ru/articles/285/1910/>
3. Bosch Rexroth: качественный ремонт и модернизация металлорежущих станков как средство повышения эффективности производства. [Электронный ресурс] // Журнал «Знак качества» [Официальный сайт]. URL: http://www.znk.by/arhiv/01_02_2011/bosz.html

УДК 007.5

ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федор Константинович Колинко

Студент 4 курса

кафедра «Реновационные технологии»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Э.Л. Мельников

доктор технических наук, профессор кафедры «Реновационные технологии»

Информационные технологии в постоянно развивающемся мире не стоят на месте и одна из задач каждой отдельно взятой страны – не отставать от этих темпов. Особенную актуальность этот момент приобретает в сфере машиностроения.

В настоящий момент в соответствии с данными, полученными с сайта <http://elec.ru>, роботизация производится лишь на 15% предприятия на территории Российской Федерации. В большинстве случаев владельцы предприятий обходятся ручным трудом, исходя из финансовых и экономических соображений. 95% от уже внедренных промышленных роботов приходится на автоматизацию процессов сварки.

Огромная задача по разработке и внедрению новых роботизированных комплексов возлагается на независимых отечественных конструкторов.

С увеличением количества в России множества вредных производств, на которых трудятся исключительно роботы, а также с повышением в Европе и США спроса на технологии роботизированной 3d-резки, покраски, механообработки, обслуживания листогибочных и прессовых машин, системы автоматического паллетирования началась зарождаться своя ниша для отечественных разработчиков.

Одной из главных проблем для местных разработок является экономическая составляющая нашей страны. Если в Европе и США можно взять кредит под <2% годовых, то в Российской Федерации эта цифра колеблется от 12 до 16%, что делает частное производство и внедрение роботизированных систем очень рискованным и сложным занятием.

В конце 2013 начал свою жизнь «стартап», основанный тремя единомышленниками, выходцами из ЦИАМа, который уже через полгода заинтересовал компанию Kawasaki Robotics и нашел свое воплощение в виде робота для точечной сварки VX200L, который отличает повышенная грузоподъемность, скорость и достаточно небольшой вес, по сравнению с аналогами.

В настоящее время компания занимается не только проектирование новых моделей роботов для компаний Kawasaki Robotics и Fanuc, но и интегрированием уже имеющихся систем, а также разработкой абсолютно нового робота для точечной сварки, теперь - исключительно для использования на территории Российской Федерации. Полученный прототип уже позволил получить положительные оценки на международных презентациях и открывает дорогу нашей стране для выхода на огромный мировой рынок промышленной робототехники.

Литература

1. <http://robotforum.ru>
2. <http://www.fanuc.com>
3. <http://elec.ru>

4. <http://www.kawasakirobotics.com>

5. <http://wikipedia.org/wiki>

УДК 53.084.823

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Андрей Михайлович Ломпас

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.К. Федоров

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Одной из проблем, стоящих перед технологическими службами предприятий, является возможность снижения вредного воздействия нагрева и, как следствие, коробления детали. При существующих методах изготовления таких деталей проблему решают по следующим направлениям. Во-первых, конструктор закладывает качественную сталь и процесса термообработки не производят вообще. Во-вторых, выполняют упрочнение исполнительных поверхностей.

В первом случае, даже при использовании качественного материала и формировании геометрических параметров в соответствии с техническими условиями, не удастся добиться необходимой износостойкости. При закалке поверхности часто возникают дополнительные дефекты поверхности: окисление, обезуглероживание, коробление, появляются новые и развиваются старые микротрещины. Финишные операции при этом являются трудоемкими по исполнению и требуют специального сложного и дорогостоящего оборудования.

Используя преимущества электромеханической обработки, предлагается приспособление, выполненное на общем основании двухроликowego устройства (рис.1).

Электромеханическая обработка - это вид обработки поверхности деталей, основанный на одновременном термическом и механическом воздействии на поверхностный слой обрабатываемой детали. В результате значительно изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя, повышается износостойкость и микротвердость.

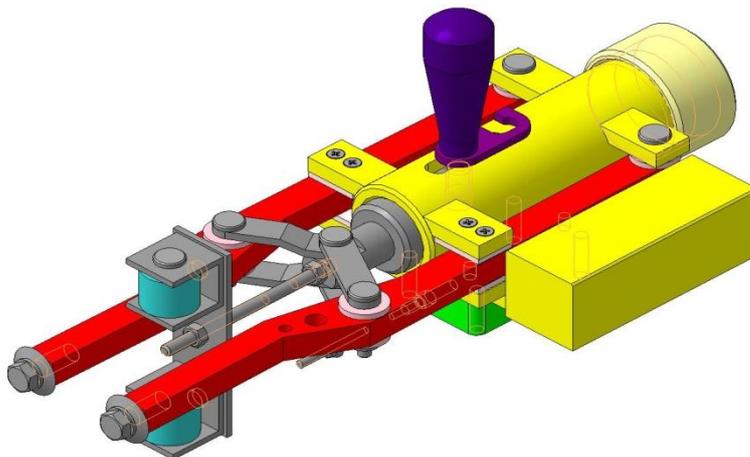


Рис. 1. Двухроликowego устройство.

Литература

1. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка РИТМ-2012-№2(70), с. 14-16
2. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой./ Б.М. Аскинази 3-е изд. Перепаб и дополн.-М.: -Машиностроение-1989.-197с.

УДК 621.9.08

ВОЗМОЖНОСТИ ЧПУ FLEXNC В ДИАГНОСТИКЕ ТОКАРНОГО СТАНКА 16K20Ф3

Иван Андреевич Никифоров

Студент 6 курса

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Б. Есов

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

На данный момент модернизация устаревших станков является актуальной темой. Важным вопросом является первичная диагностика станка, при которой определяется целесообразность дальнейшей модернизации оборудования. Так как модернизации подвергаются не только те станки, которые находились долгое время в работе, но и те, которые не эксплуатировались по той или иной причине, то зачастую возникает сложность по диагностике исходного состояния оборудования. У многих станков, проходящих модернизацию, на момент ее начала, отсутствуют или находятся в неработоспособном состоянии электродвигатели, система ЧПУ и прочие узлы. Диагностика такого оборудования часто не дает возможности определить скрытые дефекты, которые проявляются только при работе станка. Полную картину об оборудовании можно получить только после его запуска. В связи с этим, актуальными являются возможности отечественной системы ЧПУ FlexNC в диагностике станка в процессе модернизации. ЧПУ позволяет контролировать крутящий момент на приводах подач и шпинделе в режиме реального времени, что дает станку качественно новые возможности:

- Диагностика и контроль механики станков: ШВП, шпиндель, подшипники;
- Диагностика инструмента: износ, поломка, контроль правильной смены инструмента, брак инструмента;
- Диагностика технологии: уменьшение количества проходов, оптимизация по точности, оптимизация по производительности.

На кафедре МТ-13 МГТУ им. Н.Э.Баумана была проведена модернизация токарного станка с ЧПУ 16K20Ф3. В результате, на станке были заменены электродвигатели постоянного тока на асинхронные электродвигатели переменного тока, демонтирована старая система ЧПУ и установлена новая FlexNC.

Станок долгое время не эксплуатировался, и не было возможности проверить все его узлы в движении до модернизации.

После модернизации было проведено измерение геометрической точности 16K20Ф3 - прямолинейности продольного перемещения суппорта. Прямолинейность движения определяет точность формы и взаимное расположение обрабатываемых на станке поверхностей, точность координатных и расчетных перемещений, точность установки переставляемых деталей, узлов и механизмов, взаимодействие механизмов, соединяющих подвижные и неподвижные части станка. В свою очередь, точность прямолинейного движения определяется точностью

изготовления и монтажа направляющих поверхностей базовой детали, т. е. степенью приближения их по форме и взаимному расположению к заданным геометрическим формам [1].

В нашем случае измерение прямолинейности перемещения суппорта проводилось по методу 2а, описанному в ГОСТ 22267-76. Измерение по этому методу проходит с помощью центральной контрольной оправки и прибора для измерения длин. Измеряется отклонение от прямолинейности хода рабочего органа, несущего обрабатывающий инструмент [2].



Рис. 1. Фото установки для проверки токарного станка 16К20ФЗ на точность.

Проверка прямолинейности продольного перемещения суппорта показала, что станок соответствует повышенному классу точности. Так же было выявлено, что при продольном перемещении суппорт разворачивает.

Одной из возможностей системы ЧПУ FlexNC является контроль моментов и сил резания в режиме реального времени. Это позволяет проводить диагностику ШВП, шпинделя, подшипников [3].

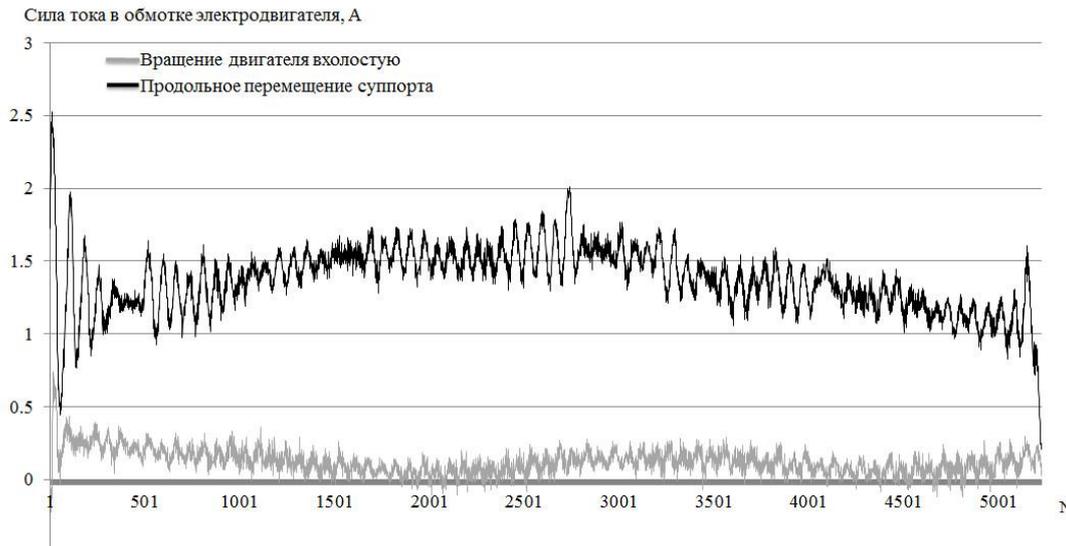


Рис. 2. Сила тока в обмотке электродвигателя при работе вхолостую и при продольном перемещении суппорта.

После того, как проводится запись сигнала с датчиков, установленных на электродвигателях или оси шпинделя, технолог получает данные о крутящем моменте на приводах подачи и шпинделе. Далее проводится преобразование Фурье, которое показывает, из каких гармоник складывается записанный сигнал. Знание того, какие частоты присутствуют в сигнале, позволяет определить какой узел в механизме может являться источником вибрации.

Такая возможность системы ЧПУ FlexNC позволяет проводить диагностику станка без использования дополнительных датчиков и определять техническое состояние технологического оборудования (люфты в ШВП, состояние подшипников и шестерен) [4].

Литература

1. *Полторацкий Н.Г.* Приемка металлорежущих станков / ВнешТоргИздат, 1968.
2. ГОСТ 22267-76: Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров
3. Flex NC Универсальная система ЧПУ нового поколения . [Электронный ресурс] // ООО "Станкоцентр" [Официальный сайт]. URL:<http://cnc.ru/cnc-flexnc>

УДК 621.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕСУРСА ВАЛОВ МАШИН

Анастасия Андреевна Соловьева

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Кононенко

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»

Анализ условий эксплуатации и характерных дефектов автомобильной техники свидетельствует о низком качестве изготавливаемых деталей, прежде всего, по критериям износостойкости и прочности наиболее нагруженных поверхностей. Ответственные детали выходят из строя под действием изменяющихся или постоянных нагрузок. Причина этого – низкое сопротивление усталостному разрушению и механическому истиранию рабочих поверхностей. Валы - одна из главных деталей машин промышленного назначения, их долговечность зависит от физико-механических свойств контактирующих поверхностей.

Изготовление и качественный ремонт автомобильной техники может быть обеспечен за счет эффективных способов упрочнения и восстановления деталей. Одним из путей повышения ресурса отремонтированной техники, снижения расхода запасных частей является внедрение в ремонтное производство технологии восстановления наружных цилиндрических поверхностей деталей типа «вал» методом нанесения полимерных композиций [3].

Существующие технологии восстановления, такие как сварка, наплавка, напыление, не всегда обеспечивают требуемую долговечность, а также являются дорогостоящими и трудоемкими. 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, а также отличается низкой трудоемкостью и обеспечивает высокую долговечность восстановленных деталей [1].

Слабой стороной полимерных составов является их недостаточная твердость и стойкость в рабочих жидкостях. Для улучшения свойств в полимеры вводят наполнители, которые улучшая одни свойства композиции, часто ухудшают другие. Введение в полимерную матрицу наночастиц, благодаря их малым размерам и высокой поверхностной энергии, позволит получить совершенно новые нанокomпозиционные материалы со свойствами, значительно отличающимися от исходных полимерных составов [2].

Технологии, основанные на использовании полимерных нанокомпозиций, позволяют не только заменять традиционные способы ремонта, но и возобновлять работоспособность деталей машин и оборудования, восстановление которых общепринятыми способами нецелесообразно или опасно с точки зрения охраны труда.

Литература

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
2. Кононенко А.С. Теория и практика герметизации фланцевых соединений сельскохозяйственной техники полимерными нанокомпозициями: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. – 180 с.
3. Жердев Ю.В., Смехов Ф.М, Чернин И.З. Эпоксидные полимеры и композиции. – М., Химия, 1982. – 232 с.

УДК 621.9

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДОЛОТ СЕЯЛКИ PRIMERA DMC 9000 ФИРМЫ AMAZONE

Максим Николаевич Толкачев

Студент 4 курса

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»

Износ рабочих долот является общей проблемой для всех современных почвообрабатывающих и посевных машин. В настоящее время долото является самым распространенным типом рабочего органа данных машин с анкерными и дисковыми сошниками. В процессе эксплуатации долота подвергаются интенсивному износу, при этом определяющим следствием износа является не столько увеличение тягового сопротивления и соответствующее увеличение расхода топлива, сколько ухудшение качества заделки семян и, как следствие, снижение урожайности. Несмотря на то, что конструкция сменного долота достаточно проста, замена комплекта долот, например для сеялки DMC 9000 с 48 долотами, обходится не дешево (ориентировочно 4500 - 5000 €). Учитывая реализованное производителем количество сеялок в России, особенности их эксплуатации, значительную (до 10000 га) сезонную наработку на один почвообрабатывающий агрегат и стоимость обслуживания, вопрос долговечности долот сошника сеялки DMC 9000 является актуальным.



Рис. 1. Долото сеялки Primera DMC 9000

Цель данной работы – восстановление и продление ресурса изношенных и новых деталей типа «долото». Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение условий работы детали и дефектов, определяющих ее ресурс работы.
2. Выбор рациональных методов восстановления и упрочнения детали типа «долото».
3. Подбор оборудования и оснастки с их необходимой доработкой для реализации выбранных методов.
4. Исследование материалов для получения износостойких покрытий и режимов их нанесения, обеспечивающих повышение износостойкости детали.
5. Разработка технологических процессов восстановления и упрочнения детали.

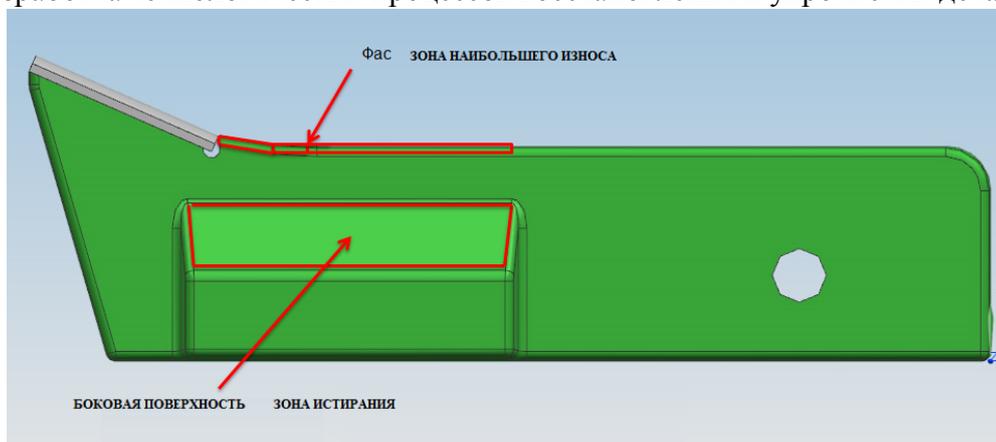


Рис. 2. Зоны износа долота сеялки

Исходя из условий работы, износов и анализа методов и полевых испытаний, для повышения износостойкости детали типа «долото» были исследованы следующие способы:

- 1) электроискровое нанесение покрытий на фас и боковые поверхности долот;
- 2) закалка и наплавка зон упрочнения токами высокой частоты (ТВЧ).

При восстановлении долота перед упрочнением производится наплавка изношенных поверхностей с использованием ТВЧ установки.

В результате проведенных исследований были выбраны наплавочные материалы и отработаны оптимальные режимы их нанесения на изнашивающиеся поверхности долота.

Выбранный комбинированный метод восстановления и упрочнения долот (наплавка ТВЧ изношенных поверхностей с последующим их упрочнением методом электроискрового легирования) является оптимальным, так как позволяет значительно повысить износостойкость долот (в 1,5 – 2 раза) и снизить затраты материалов и электроэнергии на их восстановление и упрочнение. Кроме того, применение этой технологии возможно для многократного восстановления изношенных долот.

Литература

1. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины: учебник. -М.: Колос, 2004. -624 с.
2. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технологии восстановления деталей машин - М.: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
3. Драйер Х. Детальное рассмотрение сошника сеялки Primera DMC: информационная страничка к сеялке Primera DMC.