

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 2014:**

**Машиностроительные технологии»**

**2 – 3 апреля 2014 г.**

г. Москва, 2014 г.



**Всероссийская научно-техническая конференция студентов  
«Студенческая научная весна 2014:  
Машиностроительные технологии»  
2-3 апреля 2014 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»

**Декан**

**Колесников Александр Григорьевич**

ООО «КванторФорм»

**Директор**

**Стебунов Сергей Александрович**

Кафедра «Технологии обработки давлением» (МТ-6)

**Заведующий каф. МТ-6**

**Евсюков Сергей Александрович**

Контактная информация  
конференции:

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

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

## Содержание

Состав оргкомитета .....	5
Порядок проведения конференции .....	7
Секция 1. Металлорежущие станки .....	9
Секция 2. Инструментальная техника и технология .....	13
Секция 3. Технология машиностроения .....	43
Секция 4. Метрология и взаимозаменяемость .....	61
Секция 5. Литейные технологии .....	79
Секция 6. Технологии обработки давлением .....	89
Секция 7. Технологии сварки и диагностики .....	101
Секция 8. Материаловедение в машиностроении .....	135
Секция 9. Промышленный дизайн .....	187
Секция 10. Оборудование и технологии прокатки .....	205
Секция 11. Электронные технологии в машиностроении .....	229
Секция 12. Лазерные технологии в машиностроении .....	257
Секция 13. Реновационные технологии в машиностроении .....	271

**Состав оргкомитета  
Всероссийской научно-технической конференции студентов  
«Студенческая научная весна 2014: 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**

Киселев Михаил Иванович      зав. каф. МТ-4, д.ф.-м.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.

**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

### **Волонтеры конференции**

Аникина Валерия составление программы конференции, студентка группы МТ6-62

Зудина Ольга подготовка материалов конференции, студентка группы МТ6-62

**Порядок проведения  
Всероссийской научно-технической конференции студентов  
«Студенческая научная весна 2014: Машиностроительные технологии»**

<b>1 апреля 2014г., вторник</b>		
Заезд и поселение иногородних участников конференции		
<b>2 апреля 2014г., среда</b>		
<b>с 9-00 до 09-45</b>	<b>Регистрация участников конференции Вручение свидетельств участника конференции</b>	<b>Главный учебный корпус (ГУК), ауд.213 (Читальный зал старших курсов)</b>
<b>с 10-00 до 10-35</b>	<b>Торжественное открытие конференции</b>	
	<b>Заседание научных секций</b>	
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 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
с 11-30 до 15-00	Секция 6. Оборудование и технологии обработки давлением	Учебно-методический кабинет, здание каф.МТ-6
	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
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)
с 11-00 до 15-00	Секция 11. Электронные технологии в машиностроении	Корпус МТ, каф. МТ-11, ауд.313 (Ротонда)
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
<b>3 апреля 2014г. четверг</b>		
с 10-00 до 15-00 03.04.2014	Секция 2. Инструментальная техника и технологии*	ГУК, каф. МТ-2 (Инструментальный кабинет)
	Секция 8. Материаловедение в машиностроении*	
с 12-00 до 15-00	Подсекция 8.1. Термическая обработка сталей	ГУК, каф. МТ-8, ауд.3
с 12-00 до 15-00	Подсекция 8.2. Термическая обработка цветных сплавов	ГУК, каф. МТ-8, ауд.15
с 15-00 до 21-00	Подсекция 8.3. Композиционные материалы	ГУК, каф. МТ-8, ауд.3
с 15-00 до 21-00	Подсекция 8.4. Химико-термическая обработка и покрытия	ГУК, каф. МТ-8, ауд.15
<b>с 15-00 до 16-00</b>	<b>Торжественное закрытие конференции Вручение дипломов и призов за лучшие работы.</b>	<b>ГУК, ауд.213 (Читальный зал старших курсов)</b>
<b>4 апреля 2014г. пятница</b>		
Отъезд иногородних участников конференции		



## **Секция I**

### **Металлорежущие станки и оборудование**

Председатель:

**Утенков Владимир Михайлович**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой МТ-1

Ученый секретарь:

**Додонов Владимир Владимирович**  
кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-1

**УДК 621.09**

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ СТАНКОВ**

Руднев Сергей Кириллович,  
*студент 5 курса*  
*кафедра «Металлорежущие станки»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

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

Одной из основных задач, стоящих перед машиностроителями, является обеспечение качества и конкурентоспособности изготавливаемой продукции, а ее качество во многом зависит от надежности того технологического оборудования на котором оно произведено. Именно технологическое оборудование и формирует показатели качества деталей готовых изделий.

Обеспечение стабильного уровня надежности металлорежущего станка зависит от большого количества различных факторов и процессов, происходящих в самой технологической машине. Надежность металлорежущего станка – это динамика его качества, поскольку рассматривается изменение характеристик станка во времени. Поэтому негативные процессы, приводящие к отказам станка, следует классифицировать по скорости их протекания и анализировать картину взаимодействия станка с этими процессами. Для оценки степени изменения качества станка во времени целесообразно все процессы, происходящие в станке и изменяющие его первоначальные параметры, разделить на три группы по скорости их протекания.

Быстро протекающие процессы – они возникают в пределах цикла работы станка и к ним относятся: вибрация узлов и механизмов, изменение сил трения в подвижных соединениях, колебания рабочих нагрузок и др.

Процессы средней скорости – они протекают за время непрерывной работы оборудования в течение смены и к ним относятся: тепловые деформации, изменения параметров окружающей среды, износ и коррозия некоторых малостойких элементов и др.

Медленно протекающие процессы – протекают в течение всего периода эксплуатации станка и к ним относятся: изнашивание, коррозия, перераспределение внутренних напряжений, ползучесть материалов и др. Эти процессы, как правило, проявляются на станинах и корпусных деталях, существенно снижая и ухудшая их эксплуатационные характеристики, а так же они оказывают определенное влияние на баланс формирования погрешностей обработки изделий и, соответственно, снижают надежность и качество станка в целом.

Одной из ответственных частей любого металлорежущего станка является станина – основная корпусная часть самой технологической машины, на которой монтируются ее рабочие узлы и механизмы, и от прочности, жесткости и износостойкости которой зависит качество работы всей машины в целом. Станина воспринимает усилия, действующие при работе, установленных на ней, узлов и механизмов, и обеспечивает точное взаимное расположение всех основных узлов станка.

Подавляющее большинство станин металлорежущего оборудования изготавливают методами литья из чугуна, причем наиболее распространенным видом

чугуна остается серый чугун, однако в последнее время получают все большее применение другие виды чугунов. Решающее влияние на выбор марки серого чугуна оказывают направляющие, которые должны обладать высокой износостойкостью, т.к. во время работы, например, металлорежущего станка по ним перемещаются подвижные органы станка. Многолетние наблюдения и исследования позволяют установить, что направляющие изнашиваются тем медленнее, при прочих равных условиях, чем ближе структура чугуна к перлитной и , чем выше удельное давление на трущиеся поверхности, тем очевиднее преимущества такой структуры чугуна.

В применении к металлорежущим станкам важнейшими требованиями к отливкам станин являются износостойкость, стабильность геометрической формы и жесткость. Одним из основных процессов ухудшающих технические параметры станка, является изнашивание направляющих, которые являются составной частью литой станины, т.к. на протяжении всей работы станка направляющие должны соответствовать критерию неизменности формы. Процесс изнашивания приводит к нежелательному изменению траектории движения суппорта, что в свою очередь, приводит к погрешностям в изготовлении конечной продукции.

Обеспечение надлежащей структуры и твердости в литых станинах возможно различными путями, из которых наиболее эффективными являются подбор состава металла и скорости охлаждения отливок. Особенно важно правильно подобрать легирующие компоненты, обеспечивающие дисперсность перлита и микротвёрдость чугуна.

Существенное влияние на требуемую структуру чугуна литой станины оказывает скорость ее охлаждения. Для регулирования скорости охлаждения отливок, обычно, применяют холодильники. Плоские холодильники для отливок станин, столов, траверс, стоек изготавливают толщиной 0,3 – 0,4 от толщины направляющих, шириной 0,7 – 0,8 от ширины направляющих, а длиной 1,0 – 1,5 от ширины направляющих. Для крупных отливок желательно применять, плоские холодильники. При охлаждении криволинейных поверхностей холодильники выполняют по их контуру. В средних отливках они, создавая резкое переохлаждение металла, способствуют возникновению в чугуне междендритного и сетчатого графита и образованию структурно – свободного феррита или цементита. Поэтому их в средних и иногда тяжелых отливках заменяют шиловидными, ребристыми или карборундовыми холодильниками с меньшей теплопроводностью. Такие холодильники обеспечивают требуемую графитовую структуру чугуна в отливках.

Эффективность методов принудительного охлаждения отливок, как средства снижения остаточных напряжений и сокращения технологического цикла, существенно возрастает при автоматическом регулировании процесса охлаждения отливки. Одной из наиболее простых и надежно реализуемых является система, в которой регулирующим параметром автоматически служит разность температур между основными элементами отливки, т.е. тонкой стенкой и массивной направляющей. Она фиксируется дифференциальной термопарой, образованной двумя термопарами, установленными соответственно в стенке и направляющей отливки.

## Литература

1. Мухин А.В., Спиридонов О.В., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А. Производство деталей металлорежущих станков: Учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов. – М: Машиностроение, 2001. – 560с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М: Машиностроение, 2002. – 592с.



## **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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ЗУБЬЕВ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ СО СРЕЗАЕМЫМ ПРИПУСКОМ

Евгений Александрович Батманов<sup>(1)</sup>, Игорь Анатольевич Павлюченков<sup>(2)</sup>,  
студент 6 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 1 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

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

Изготовление резьбовых отверстий является актуальной задачей машиностроения. Для изготовления резьбы в отверстиях наряду с метчиками (работающими на сжатие) применяют резьбовые фрезы (работающие на изгиб). Для расчета резьбовых фрез на прочность в программах САЕ необходимо знать площадь контакта зубьев фрез со срезаемым припуском. Поэтому цель данной работы – изучение площади контакта зубьев резьбовых фрез со срезаемым припуском.

На основе ГОСТ 1336-77 была разработана модель параметризованной цельной гребенчатой резьбовой фрезы с винтовыми стружечными канавками (рис. 1). Разработка параметризованной резьбовой фрезы и расчет площади контакта зубьев со срезаемой стружкой проводился методом геометрического моделирования с использованием студенческой версии программы Autodesk Inventor Professional 2014. В разработанной модели имеется возможность варьирования следующими параметрами резьбовой фрезы: диаметр и длина режущей части, число зубьев, передний угол, величина падения затылка, угол наклона винтовых стружечных канавок, левый и правый углы резьбового профиля фрезы, шаг резьбового профиля фрезы.

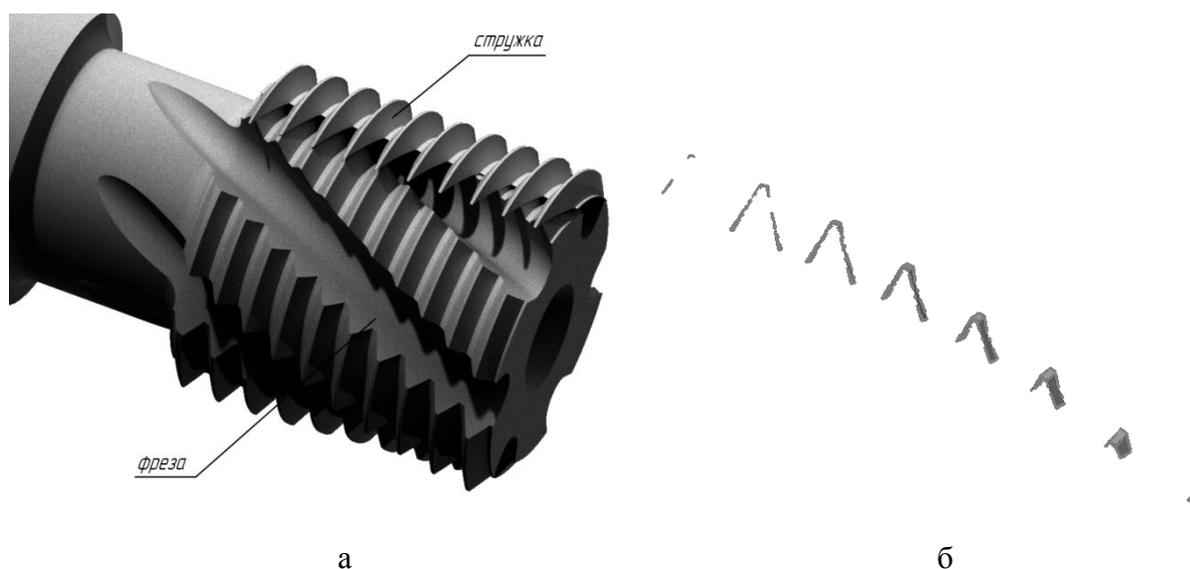


Рис. 1. Параметризованная модель фрезы и снимаемая ей стружка (а), площадка контакта (б).

Для определения модели снимаемой стружки были скомбинированы вычитанием два положения вращающейся фрезы, отстоящих друг от друга на

расстоянии, равном величине подачи на зуб. Вращение фрезы можно имитировать, получив сплошное тело путем вращения передней поверхности фрезы вокруг своей оси. Площадка контакта была получена путем пересечения модели срезаемой стружки и модели резбовой фрезы, перемещенной на величину подачи на зуб.

В ходе исследования менялись следующие параметры: диаметр резьбы от 10 до 32 мм, угол наклона стружечной канавки от 0 до 30 град, шаг резбового профиля от 0,75 до 3 мм и величина подачи на зуб от 0,05 до 0,15 мм, – и были получены зависимости, приведенные на рис.2.

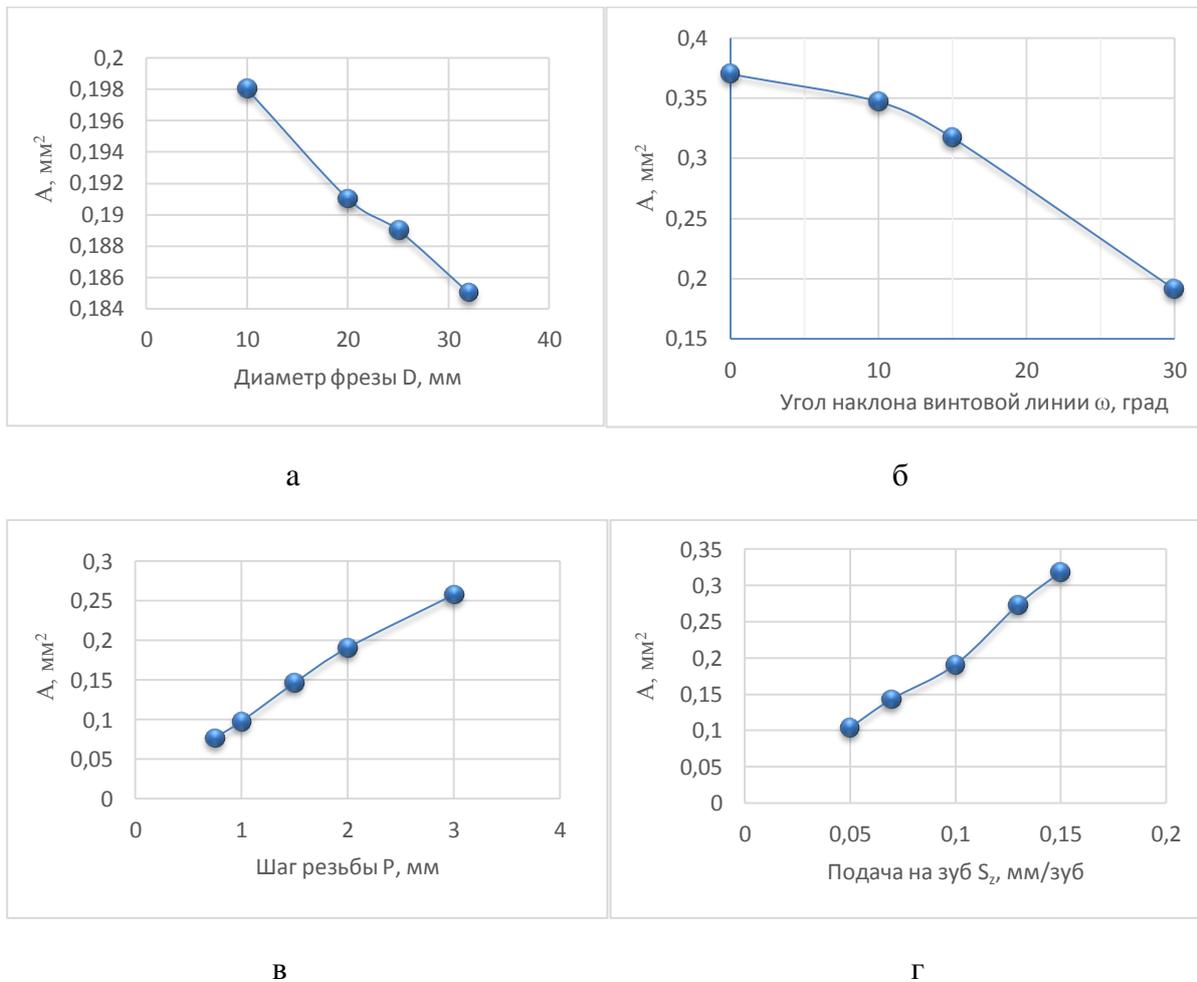


Рис. 2. Графики зависимостей суммарной площади контакта одного зуба ( $A$ ,  $\text{mm}^2$ ) со срезаемым припуском от варьируемых параметров.

#### Вывод:

1. Суммарная площадь контакта зубьев исследуемой резбовой фрезы со срезаемым припуском монотонно уменьшается с увеличением диаметра фрезы и угла наклона винтовых канавок и монотонно увеличивается с увеличением шага резьбы и подачи на зуб.

2. Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для проведения расчетов на прочность и виброустойчивость резбовых фрез.

## Литература

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей ВУЗов.- М.: Высшая школа, 1985.- 304 с.
2. ГОСТ 1336-77. Фрезы резьбовые гребенчатые. Технические условия. Взамен ГОСТ 1336-62. - Введен с 01.07.78. - Переизд. октябрь 1987г.- М.: Изд-во стандартов, 1978.- 19 с.

УДК 621.9.048.4

### ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИИ

Юлия Леонидовна Битюцкая,  
студентка 6 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

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

В настоящее время металлические порошки находят применение в самых различных отраслях промышленности, причем требования к уменьшению их дисперсности и увеличению объема производства мелкодисперсных порошков постоянно возрастают.

В работе были рассмотрены основные механические и физико-химические методы получения порошков и области рационального применения рассмотренных методов. Одним из перспективных физико-химических методов получения металлических порошков является метод электроэрозионного диспергирования металлов. В работе были рассмотрены основные технологические схемы получения порошков данным методом: диспергированием металлических гранул и диспергированием электродов, изготовленных из измельчаемого материала. С точки зрения управления размером частиц посредством организации процесса диспергирования и выбора соответствующих режимов, интерес представляют технологические схемы электроэрозионного измельчения электродов.

В работе предложена схема электроэрозионного диспергирования металлов составным электродом. Данная схема позволяет повысить производительность процесса получения порошков за счет увеличения площади обработки и обеспечения беспрепятственного удаления продуктов эрозии из межэлектродного промежутка.

Для определения рациональных режимов электроэрозионного диспергирования в представленной работе предлагается методика, основанная на использовании решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала (задачи Стефана). Решение этой задачи осуществлялось вычислительной программой Erosion. Обрабатываемость металлов, для которых не определены рациональные режимы обработки, можно оценить, сравнивая полученные для них графические зависимости глубины проплавления от длительности импульса с аналогичными зависимостями металлов, для которых режимы обработки известны. Если названные

графические зависимости для исследуемых металлов совпадают или близки, то можно считать, что эти металлы следует обрабатывать на аналогичных режимах.

В работе также была рассчитана максимальная производительность электроэрозионного диспергирования и максимальные размеры частиц для различных материалов. Расчет производился на основе вычисления объема единичных лунок.

Объем диспергируемого материала можно вычислить следующим образом:

$M_{A(K)} = 60 \cdot f_p \cdot V_l \cdot k_B$ , где  $V_l$  – объем единичной лунки, мм<sup>3</sup>;  $f_p$  – реальная частота следования импульсов, Гц;  $k_B$  – коэффициент, характеризующий количество удаляемого из лунки материала.

Объем единичной лунки можно вычислить по формуле:

$V_l = k_1 \cdot W_{и}$ , где  $k_1$  – коэффициент удельной эрозии, мм<sup>3</sup>/мкДж;  $W_{и}$  – энергия импульса, мкДж.

Зная плотность диспергируемых материалов можно определить производительность, выраженную в массе получаемого порошка в минуту.

Результаты расчета максимальной производительности диспергирования электрода диаметром 3 мм с применением прокатки рабочей жидкости через межэлектродный промежуток для некоторых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Максимально возможная производительность Мм, г/мин (с прокаткой РЖ)

Материал	Энергия импульса W, мкДж				
	50	200	500	1000	5000
Медь	0,03	0,12	0,31	0,62	0,83
Латунь	0,04	0,18	0,44	0,88	1,19
Сталь 45	0,02	0,08	0,19	0,39	0,53
Вольфрам	0,02	0,07	0,19	0,37	0,50
Молибден	0,02	0,06	0,16	0,33	0,44

Очевидно, что для увеличения производительности электроэрозионное диспергирование необходимо производить одновременно несколькими электродами.

Оценить максимальный диаметр частицы порошка можно, считая, что весь материал, удаленный из лунки, образует одну частицу сферической формы. Значения максимальных диаметров частиц порошка приведены в таблице 2.

Таблица 2. Максимальный диаметр частицы Dmax, мкм

Материал	Энергия импульса W, мкДж				
	50	200	500	1000	5000
Медь	6,5	10,3	14,0	17,7	30,2
Сталь 45	5,8	9,3	12,6	15,8	27,1
Вольфрам	4,2	6,7	9,1	11,5	19,7
Молибден	5,0	8,0	10,8	13,6	23,3

Следует отметить, что расплавленный материал выбрасывается из лунки в виде нескольких капель. Поэтому в реальных условиях дисперсность порошков будет ниже значений представленных в таблице.

Электроэрозионное диспергирование является перспективным методом получения порошков из электропроводных материалов. Данный метод позволяет получать мелкодисперсные порошки (единицы мкм и меньше). Следует отметить, что вследствие относительно невысокой производительности, этот метод целесообразно использовать для получения порошков, требующихся в небольших количествах.

## Литература

1. *Либенсон Г. А.* Процессы порошковой металлургии : учеб. для вузов : в 2 т./ Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. – М. :МИСиС, 2001.
2. Получение высокодисперсных порошков металлов и их соединений электроискровым диспергированием металлов : моногр./ *Р.К. Байрамов.* – М. : Изд. Дом МИСиС, 2012. – 81 с. : ил.
3. Порошковое материаловедение. *Андреевский Р.А.* - М. :Металлургия, 1991. — 205с
4. *Ставицкий И.Б.* Лабораторный практикум по курсу «Теория электрофизических и электрохимических методов обработки материалов» : метод.указания /*И.Б.Ставицкий, Н.П. Малевский.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 37, [3] с.: ил.
5. Kiyoshi Inoue Fundamental of electrical discharge machining, DSC, 1977 – 277p.

### УДК 621.9

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ТОРЦЕВОМ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Константин Сергеевич Ветров,

*студент 5 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 сравнить энергопотребление при торцевом и цилиндрическом фрезеровании с сохранением идентичности условий обработки на основании экспериментально полученных составляющих силы резания при обоих видах фрезерования.

Для осуществления экспериментальных исследований разработан динамометрический стенд на базе динамометра Kistler, для которого была специально изготовлена установочная плита с восемью резьбовыми отверстиями М8 для закрепления динамометра к столу вертикально-фрезерного станка, учитывающая габаритные и установочные размеры данного динамометра; а также изготовлена специальная заготовка под фрезерование. Особенностью указанной заготовки являются выполненные отверстия для крепления ее в динамометре и Г-образный профиль 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. В качестве оборудования использовался вертикально-фрезерный станок модели 6Р12, в качестве режущего инструмента - фреза концевая с четырьмя зубьями Ø30 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  $n = 200$  мм/об, что соответствует скорости резания  $v = 18,8$  м/мин. Составляющие силы резания замерялись при минутных подачах  $S_m = 40, 50, 63$  и  $80$  мм/мин, что при указанных условиях соответствует подачам  $S_z = 0,05; 0,0625; 0,07875$  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.

При обработке полученных результатов установлено, что рекомендуемые в литературе [1] и других источниках коэффициенты пересчета ортогональных составляющих силы резания  $F_x$  и  $F_y$  в окружную силу  $F_t$  являются оценочными и не могут быть использованы для сравнительного анализа энергопотребления. Необходимый пересчет был проведен на основании схемы, представленной на рисунке 1 по следующей формуле:

$$F_t = F_x \cdot \cos \Theta - F_y \cdot \sin \Theta,$$

где  $\Theta$  - угол между проекцией осевой плоскости, проведенной через вершину режущего зуба, и направлением  $Y$  в системе координат динамометра.

Поскольку при определении энергопотребления расчет ведется по всему основному технологическому времени, значение  $F_t$  определялось как среднее за полный оборот инструмента.

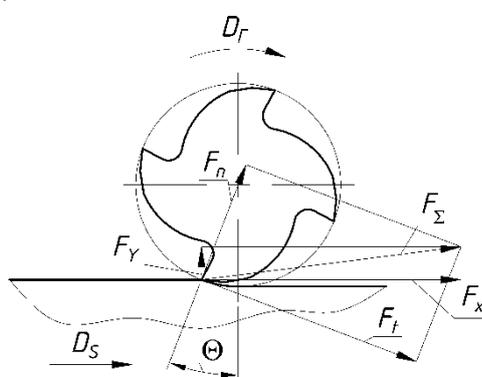


Рисунок 1. Схема пересчета ортогональных составляющих силы резания  $F_x$  и  $F_y$  в окружную силу  $F_t$  на примере цилиндрического фрезерования.

Мощность фрезерования определялась по формуле:  $N = F_t \cdot v / 60000$ , кВт.

Энергоемкость обработки рассчитывалась по формуле:  $E = N \cdot t_o \cdot 60$ , кДж, где  $t_o$  - основное технологическое время обработки, мин, определяемое по формуле  $t_o = L / S_m$ . Условная длина обработки  $L$  в расчетах принималась 100 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. В качестве примера в таблицу 1 сведены результаты расчета в некоторой текущей точке с шириной фрезерования 15 мм, в которой превышение энергопотребления цилиндрического фрезерования относительно торцевого составляет 58%.

Таблица 1.

Вид фрезерования	Ширина фрезерования, мм	Глубина резания $t$ , мм	Скорость резания $v$ , м/мин	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб	Окружная составляющая силы резания $F_t$ , Н	Мощность резания $N$ , кВт	Основное технологическое время $t_0$ , мин	Энергопотребление $E$ , кДж
Цилиндрическое	15	1	18,8	0,05	157	0,049	2,5	7,35
Торцевое	15	1	18,8	0,05	101	0,031	2,5	4,65

### Литература

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

### УДК 621.91.02

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОРЦЕВЫХ КАНАВОК НА ДЕТАЛЯХ РКТ

Евгения Владимировна Воробьева,

студентка 6 курса,

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»

В настоящее время большинство действующих промышленных предприятий проводят мероприятия по модернизации и техническому перевооружению производства, в частности ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», являющееся одним из ведущих предприятий ракетно-космической отрасли. К техническому перевооружению относится комплекс мероприятий по повышению технико-экономических показателей основных средств или их отдельных частей на основе внедрения передовой техники и технологии, механизации и автоматизации производства, модернизации и замены устаревшего и физически изношенного оборудования новым, более производительным.

Модернизация или замена устаревшего и физически изношенного оборудования новым, более производительным предполагает разработку и внедрение новых технологий изготовления изделий, а также внедрение соответствующего нового металлорежущего инструмента и оснастки.

Таким образом, вопросы, касающиеся технического перевооружения производства– объекта исследования, являются в настоящее время актуальными.

На производстве предприятия ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия» при обработке определенной номенклатуры деталей ракетно-космической техники (РКТ) на станках с ЧПУ возникла потребность в твердосплавных резцах, необходимых для обработки торцевых канавок и в их соответствующем включении в каталог-ограничитель

токарного инструмента для оборудования с ЧПУ. Таким образом, предметом исследования являются твердосплавные резцы для обработки торцевых канавок на деталях РКТ.

Целью данного исследования является испытание и внедрение в производство твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок на деталях РКТ.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследования:

1. Выбрать твердосплавные резцы для обработки торцевых канавок из существующих резцов на рынке металлорежущего инструмента и предназначенных для обработки деталей из типовых обрабатываемых материалов.
2. Выполнить производственные испытания выбранных твердосплавных резцов для проверки рекомендованных режимов.
3. Разработать расчетную методику и выполнить проверочный расчет твердосплавных резцов на прочность, определить предельные значения подачи.

Твердосплавные резцы выбраны на основании анализа торцевых канавок представленной номенклатуры деталей РКТ. Выбор твердосплавных резцов был произведен по каталогам инструментальных фирм «Carmex» [1] и «Kemmer» [2].

Испытания твердосплавных резцов проведены в производственных условиях предприятия на токарных станках с ЧПУ СТП-20 и Nakamura-Tome SC300 при обработке заготовок из алюминиевого сплава, коррозионно-стойкой стали и титанового сплава. В качестве примера на рис. 1 представлен операционный эскиз обработки торцевой канавки на заготовке из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T, а на рис. 2 представлен вид обработанной канавки.

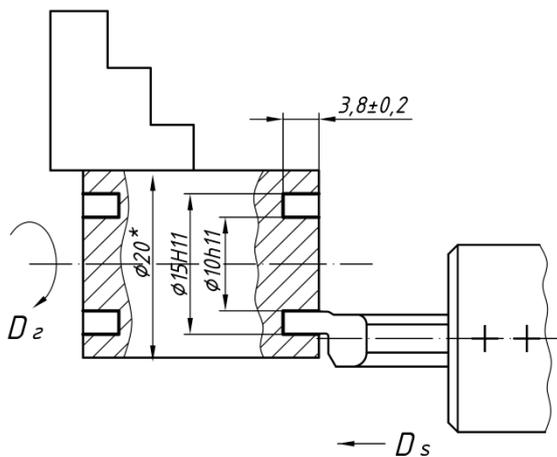


Рис.1. Операционный эскиз обработки



Рис.2. Вид обработанной канавки торцевой канавки. Материал заготовки – 12X18H10T.

Расчет твердосплавных резцов на прочность проведен с применением конечно-элементного программного комплекса ANSYS. Модель инструмента нагружена главной составляющей силы резания, действующей со стороны передней поверхности на контактной площадке. Сила резания рассчитана через средние контактные напряжения в условной плоскости сдвига по методике, изложенной в учебном пособии [3]. Также использован второй метод расчета силы через удельную нагрузку и толщину

среза [4]. Расчет предусматривает определение опасных объемов на модели резца, в которых главные напряжения имеют наибольшее значение.

По результатам данного исследования сделаны следующие выводы:

1. Выбранный и испытанный инструмент удовлетворяет требованиям к обработке канавок на деталях РКТ из алюминиевых сплавов, коррозионно-стойкой стали и титанового сплава.
2. Выбранный и испытанный инструмент рекомендован к внесению в каталог-ограничитель токарного инструмента предприятия для оборудования с ЧПУ.

### Литература

1. Каталог режущего инструмента фирмы Carmex Precision Tools ltd - 180 с. ([www.carmex.com](http://www.carmex.com))
2. Каталог режущего инструмента фирмы Kemmer - 140 с. ([www.s-t-group.com/catalog/KEMMER.pdf](http://www.s-t-group.com/catalog/KEMMER.pdf))
3. Грубый С.В. Моделирование процесса резания твердосплавными и алмазными резцами: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2010. -107 с.
4. GARANT. Справочник по обработке резанием ([www.garant-tools.com](http://www.garant-tools.com)).

УДК 53.084.823

### ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ

Владислав Александрович Зобов,  
*студент 4 курса,*  
*кафедра «Инструментальная техника и технологии»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.В. Попцов,*  
*аспирант кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

На данный момент сплавы цветных металлов во многих областях вытесняют сталь, в первую очередь это авиа- и ракетостроение, где необходимо максимально уменьшить вес конструкции, а также судостроение, химическая и нефтегазовая промышленность, где из-за коррозии в агрессивных средах использование сталей недопустимо. Несмотря на уменьшение прочности и износостойкости, детали из сплавов цветных металлов в ряде случаев предпочтительны по сравнению со сталями. К таким деталям относятся детали химических насосов, подшипники скольжения и их вкладыши, штоки и поршни, работающие в условиях агрессивных сред. В неупрочненном состоянии цветные сплавы обладают недостаточно высокой износостойкостью, вследствие их недостаточно высокой твердости и склонности к адгезионному схватыванию. Для деталей трения из цветных сплавов необходимо создание на их поверхностях упрочненного, износостойкого слоя.

Несмотря на значительное количество методов упрочнения (оксидирование, азотирование, никелирование, лазерная закалка и др.) все они дают относительно тонкий упрочненный слой. Полученные слои или покрытия обычно имеют низкую адгезионную связь с основой, что может приводить к их отслоению при эксплуатации. Сложность имеющихся методов и неравномерность получаемых свойств по сечению, также негативно влияет на их применяемость.

Использование деформирующего резания (ДР) для получения толстого упрочненного слоя с равномерными свойствами по его толщине и высокой адгезионной прочностью с основой, является рациональным решением проблемы [1]. При ДР это достигается подрезанием и пластическим деформированием подрезанных слоев с их разогревом в процессе обработки без их отделения от заготовки. При ДР возможно достижение высоких температур подрезанного слоя, вплоть до температур плавления обрабатываемого материала.

Нагрев до высоких температур для некоторых цветных сплавов может обеспечить упрочнение за счет фазовых переходов (аналог закалки сталей). [2]

Насыщение кислородом или азотом из атмосферы воздуха, либо другими элементами при обдуве или поливе зоны обработки специальными технологическими средами также может повысить износостойкость слоя. Например, при диффузионном насыщении титана кислородом и/или азотом износостойкость поверхности значительно возрастает [3].

Значительная степень пластической деформации, ведущая к увеличению плотности дислокаций при обработке ДР дополнительно обеспечивает деформационное упрочнение поверхностного слоя детали [4].

Преимуществом метода ДР по сравнению с существующими способами поверхностного упрочнения является простота реализации, высокая производительность и возможность использования стандартного металлорежущего оборудования.

На основе литературного обзора [5,6], выявлены наиболее применяемые в узлах трения марки цветных сплавов, способные к термоупрочнению за счет фазовых переходов, а также марки сплавов, способные упрочняться при легировании из газовой или жидкой фазы при термическом воздействии методом ДР. Было выявлено 3 группы материалов: бронзы, алюминиевые и титановые сплавы, некоторые марки которых, способны упрочняться, как за счет фазовых переходов, так и за счет легирования при обработке методом ДР.

Планируется проведение экспериментальных исследований, по обработке выявленных марок цветных сплавов методом ДР с целью получения упрочненного износостойкого слоя за счет нагрева до температур фазовых переходов, а также с дополнительной введением легирующих элементов в процессе обработки. Ожидается создание упрочненных безградиентных слоев с толщиной более 0,5 мм, что проблематично для других существующих методов упрочнения.

## Литература

1. *Зубков Н.Н., Васильев С.Г.* Повышение износостойкости деталей пар трения скольжения на основе метода деформирующего резания / *Зубков Н.Н., Васильев С.Г.*//
1. Упрочняющие технологии и покрытия - 2013. – №8. – С.3–9.
2. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / *Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И.* ; ред. *Григорьянц А. Г.* – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, – 2006. – С.283.
3. Титановые сплавы в машиностроении *Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн* – Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977 – С.194.
4. Изменение твердости поверхности детали методом механической обработки / *Васильев С. Г., Шуляк Я. И.* // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. – 2011. - № 11. – С. 77-82.

5. *Металловедение и термическая обработка цветных сплавов: учеб. пособие / Г. А. Меркулова.* – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – 312 с.
6. *Meigh H.J. Cast and Wrought Aluminium Bronzes Properties, Processes and Structure // Maney Material Science – 2000. – 434.p.*

**УДК 621.9.042**

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАРЕЗОВ В СТВОЛАХ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

Анастасия Олеговна Климочкина,

*студент 4 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»*

Точность стрельбы нарезного стрелкового оружия определяется не только точностью геометрии канала ствола, но и точностью формы получаемых нарезов. Нарезные стволы появились более 600 лет назад, но многие принципы, которые использовали оружейники средневековья, актуальны и сейчас.

Нарезы получают после глубокого сверления и развертывания ствола. Перед получением нарезов используется хонингование, притирка или полировка.

Распространенным как сейчас, так и раньше, является метод получения нарезов радиальной (ротационной) ковкой. Суть метода состоит в симметричном обжатии заготовки в холодном или горячем состоянии вокруг так называемой оправки - дорна. Недостатками метода является относительно низкая точность (сотые доли миллиметра) и высокая стоимость специализированного оборудования для ковки. Производительность метода высокая. Например, изготовление ствола калибром 12,7 мм таким методом занимает порядка 10 минут. К достоинствам способа также относится упрочнение материала ствола при его ковке, что существенно увеличивает его ресурс. Разновидностью метода является применение валков, которые сдавливают металл на оправку, а также обжатие за счёт протягивания ствола с оправкой через фильеру.

В 40е годы прошлого столетия широкое распространение получило нарезное оружие, полученное дорнованием, а по сути - деформирующим протягиванием. Данный процесс высокопроизводителен (время обработки составляет менее минуты), так как формирование нарезов происходит за один ход инструмента - дорна. Твердосплавный дорн, двигаясь по стволу, и одновременно вращаясь, формирует нарезы за счет выдавливания металла. Недостатком метода является необходимость снятия остаточных напряжений длительной (десятки часов) термической обработкой по точным режимам нагрева и охлаждения и использование специальных смазок или меднение ствола перед обработкой. Дорнование предпочтительно при большом (больше 6) количестве нарезов.

Самые первые нарезные стволы были получены резанием, т.е. с удалением металла из канала ствола. Этот способ остался самым распространенным и в наше время. Получение нарезов резанием обеспечивает их самую высокую точность. Резанием получают нарезы протягиванием и строганием.

Протяжки для изготовления нарезов похожи на круглые протяжки с винтовыми зубьями с формой зубьев, повторяющих профиль нарезов. Метод

высокопроизводителен, однако используется в основном для коротких стволов пистолетов, поскольку для длинных винтовочных стволов возникают недопустимые растягивающие нагрузки на протяжке. Также используются одно- и многолезвийные протяжки с раздвигающимися режущими зубьями скребкового типа, способные снимать припуск в обоих направлениях ее движения.

Хоть и старинным, но наиболее точным является получение нарезов технологией шпалерного строгания (в отечественной терминологии метод называется строжкой крючковым шпалером). В инструментальную головку (шпалер) установлен минирезец (в английском варианте hook – «крючок» из-за специфической формы резца) с возможностью его радиального перемещения за счет клинового разжима. Резец последовательно формирует нарезы. за десятки проходов с глубиной резания сотые доли миллиметра. Это самый низкопроизводительный способ получения нарезов, требующий десятков минут основного времени. Ствол получаемый данным способом не нуждается в термической обработке и сразу готов к применению. На сегодняшний день стволы, полученные шпалерным строганием являются безусловными лидерами по точности стрельбы. Существенное повышение точности нарезов было обеспечено в 2004 г. при использовании специализированных станков с ЧПУ компанией Бартлейн, которая является единственной компанией в мире, которая может производить стволы с переменным шагом нарезов.

Последней из освоенных технологий является электрохимическое нарезание стволов. Этот метод основан на процессе анодного растворения металла, помещенного в электролит. Электрод-инструмент с выступами по форме нарезов, постепенно вставляется в ствол с вращением. На электрод-инструмент (катод) и ствол (анод) подается постоянное напряжение, и в зазоре прокачивается электролит, что обеспечивает растворение металла ствола в местах нарезов. Электрод-инструмент не изнашивается. Метод низкопроизводителен при средней точности изготовления нарезов.

## Литература

1. *Туктанов А. Г.* Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для вузов / Туктанов А. Г. - М.: Машиностроение, 2007. - 373 с.
2. *Саукум С.* Ствол / Одесса: Печатный дом, 2009. - 214 стр.

**УДК 621.9.042**

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАРЕЗОВ В СТВОЛАХ СРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

*Анастасия Олеговна Климочкина,  
студент 4 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»*

Точность стрельбы нарезного стрелкового оружия определяется не только точностью геометрии канала ствола, но и точностью формы получаемых нарезов.

Нарезные стволы появились более 600 лет назад, но многие принципы, которые использовали оружейники средневековья, актуальны и сейчас.

Нарезы получают после глубокого сверления и развертывания ствола. Перед получением нарезов используется хонингование, притирка или полировка.

Распространенным как сейчас, так и раньше, является метод получения нарезов радиальной (ротационной) ковкой. Суть метода состоит в симметричном обжатии заготовки в холодном или горячем состоянии вокруг так называемой оправки - дорна. Недостатками метода является относительно низкая точность (сотые доли миллиметра) и высокая стоимость специализированного оборудования для ковки. Производительность метода высокая. Например, изготовление ствола калибром 12,7 мм таким методом занимает порядка 10 минут. К достоинствам способа также относится упрочнение материала ствола при его ковке, что существенно увеличивает его ресурс. Разновидностью метода является применение валков, которые сдавливают металл на оправку, а также обжатие за счёт протягивания ствола с оправкой через фильеру.

В 40-е годы прошлого столетия широкое распространение получило нарезное оружие, полученное дорнованием, а по сути - деформирующим протягиванием. Данный процесс высокопроизводителен (время обработки составляет менее минуты), так как формирование нарезов происходит за один ход инструмента - дорна. Твердосплавный дорн, двигаясь по стволу, и одновременно вращаясь, формирует нарез за счет выдавливания металла. Недостатком метода является необходимость снятия остаточных напряжений длительной (десять часов) термической обработкой по точным режимам нагрева и охлаждения и использование специальных смазок или меднение ствола перед обработкой. Дорнование предпочтительно при большом (больше 6) количестве нарезков.

Самые первые нарезные стволы были получены резанием, т.е. с удалением металла из канала ствола. Этот способ остался самым распространенным и в наше время. Получение нарезков резанием обеспечивает их самую высокую точность. Резанием получают нарезки протягиванием и строганием.

Протяжки для изготовления нарезков похожи на круглые протяжки с винтовыми зубьями с формой зубьев, повторяющих профиль нарезков. Метод высокопроизводителен, однако используется в основном для коротких стволов пистолетов, поскольку для длинных винтовочных стволов возникают недопустимые растягивающие нагрузки на протяжке. Также используются одно- и многолезвийные протяжки с раздвигающимися режущими зубьями скребкового типа, способные снимать припуск в обоих направлениях ее движения.

Хоть и старинным, но наиболее точным является получение нарезков технологией шпалерного строгания (в отечественной терминологии метод называется строжкой крючковым шпалером). В инструментальную головку (шпалер) установлен минирезец (в английском варианте hook – «крючок» из-за специфической формы резца) с возможностью его радиального перемещения за счет клинового разжима. Резец последовательно формирует нарезки за десятки проходов с глубиной резания сотые доли миллиметра. Это самый низкопроизводительный способ получения нарезков, требующий десятков минут основного времени. Ствол получаемый данным способом не нуждается в термической обработке и сразу готов к применению. На сегодняшний день стволы, полученные шпалерным строганием являются безусловными лидерами по точности стрельбы. Существенное повышение точности нарезков было обеспечено в 2004 г. при использовании специализированных станков с ЧПУ компанией Бартлейн, которая является единственной компанией в мире, которая может производить стволы с переменным шагом нарезков.

Последней из освоенных технологий является электрохимическое нарезание стволов. Этот метод основан на процессе анодного растворения металла, помещенного в электролит. Электрод-инструмент с выступами по форме нарезов, постепенно вставляется в ствол с вращением. На электрод-инструмент (катод) и ствол (анод) подается постоянное напряжение, и в зазоре прокачивается электролит, что обеспечивает растворение металла ствола в местах нарезов. Электрод-инструмент не изнашивается. Метод низкопроизводителен при средней точности изготовления нарезов.

### Литература

1. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для вузов / Туктанов А. Г. - М.: Машиностроение, 2007. - 373 с.
2. Саукум С. Ствол / Одесса: Печатный дом, 2009. - 214 стр.

УДК 621.9.02

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО СЕЧЕНИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Татьяна Сергеевна Мелкерис,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

При фрезеровании фрезами с криволинейной режущей кромкой на цилиндрической части сечение срезаемого слоя представляет собой фигуру, ограниченную с четырех сторон кривыми (рис.1). Расчет силы резания при таком сечении срезаемого слоя отличается от расчета при сечении в виде параллелограмма.

В работе рассмотрены возможные методы нахождения силы резания для криволинейного сечения срезаемого слоя на примере слоя, срезаемого фрезой *Preci Tool 166205* фирмы *Sandvik* ( $d=10\text{мм}$ ;  $z=4$ ;  $\omega=30^\circ$ ,  $S_z=0,042$  мм/зуб, шаг выступов на режущей кромке  $P=1,093$  мм).

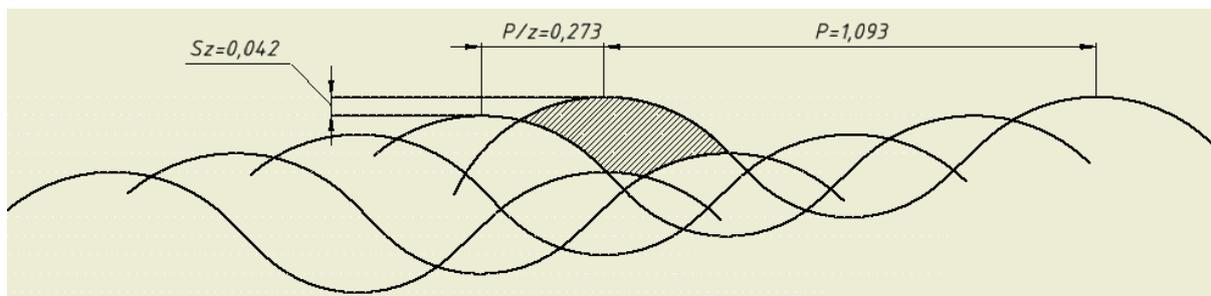


Рис.1. Образование сечения срезаемого слоя фрезой с криволинейной режущей кромкой *Preci Tool 166205*.

Расчет силы резания проводился для различных моделей, отличающихся способом разбиения сечения срезаемого слоя на элементарные участки и способом определения толщины срезаемого слоя на каждом из участков  $a_{cpi}$ . Рассмотрено три модели.

1. Разбиение на сегменты с криволинейными основаниями и боковыми сторонами, перпендикулярными режущей кромке в данной точке (рис.2, а). Толщину сечения срезаемого слоя на каждом участке определяли:

- из измеренной в графическом редакторе площади сегмента  $A - a_{cpi} = \frac{A}{b_{cpi}}$  где

$$b_{cpi} = \frac{(b_1 + b_2)}{2};$$

- как размер отрезка, проведенного через середину хорды;
- как высоту трапеции, построенной на базе углов полученного сегмента.

2. Параллельное разбиение, при котором сечение срезаемого слоя разделяется на элементарные части прямыми, перпендикулярными оси фрезы (рис.2, б). Толщина стружки определялась как размер отрезка, проведенного через середины ограничивающих кривых или середины хорд.

3. Разбиение сечения не производили, силу рассчитывали по средней толщине срезаемого слоя, которую находили как отношение площади сечения срезаемого слоя к высоте вписанного прямоугольника или как отношение площади к длине дуги режущей кромки.

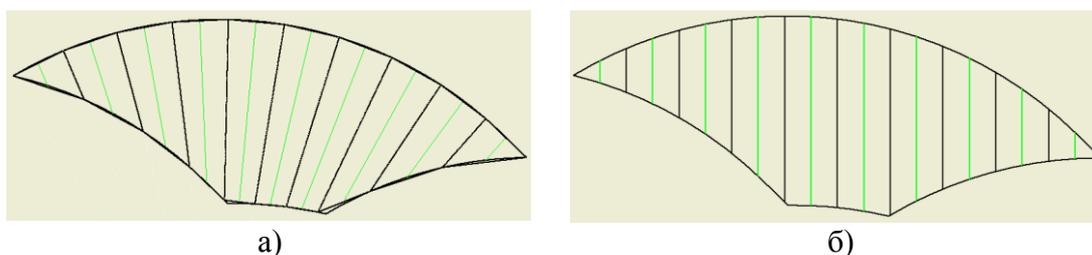


Рис.2. Разбиение сечения срезаемого слоя на сегменты (а) и параллельными прямыми (б)

Расчеты были выполнены для  $n=10, 20, 30, 40$  разбиений.

Сила резания  $P_i$  была рассчитана для каждого участка разбиения по формулам:

$$P_i = A_i \frac{k_{c1.1}}{a_m} \text{ или } P_i = a_{cpi}^{1-m} b_i k_{c1.1}, \text{ где } m=0,23, k_{c1.1}=0,83 \text{ Н/мм}^2 [1]$$

Общая сила резания для сечения срезаемого слоя определялась как сумма сил резания элементарных участков.

Установлено:

- сила резания мало зависит от количества участков, на которые разбивается сечение срезаемого слоя (за исключением разделения на трапеции);
- наиболее правильным для расчета силы резания является метод разбиения на сегменты, но этот метод является одним из самых трудоемких;
- метод параллельного разбиения дает малое отклонение от метода разбиения на сегменты, но гораздо проще в реализации;
- методы подсчета средней толщины стружки по общей площади сечения срезаемого слоя дают самую большую ошибку.

## Литература

1. Garant. Справочник по обработке резанием.[Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.hoffmann-group.com/fileadmin/catalog/enBK\\_ZHB\\_2009\\_en/blaetterkatalog/index.html](http://www.hoffmann-group.com/fileadmin/catalog/enBK_ZHB_2009_en/blaetterkatalog/index.html)

## УДК

### ОБЗОР МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ОБЛОМКОВ ЭНДОДОНТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ КАНАЛА КОРНЯ ЗУБА

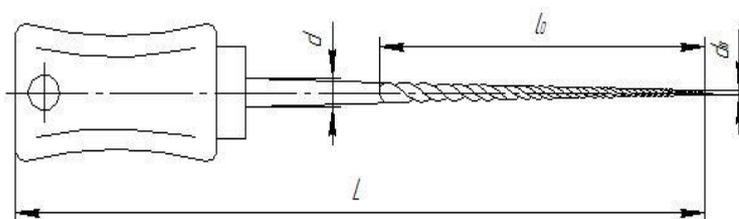
Антон Петрович Наумов,  
студент 5-го курса  
кафедра «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н. Э. Баумана

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

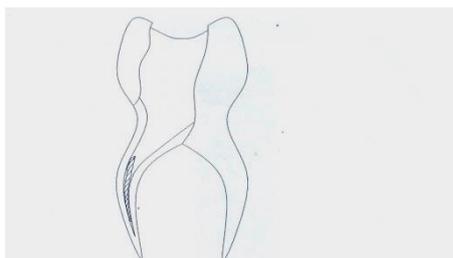
В современной стоматологии для прочистки корневых каналов зубов, их расширения для дальнейшего пломбирования применяются эндодонтические инструменты.

Инструменты для эндодонтического лечения, как правило, выполняются из коррозионностойкой стали или Ni-Ti-сплавов и представляют собой осевой конический режущий инструмент. Максимальный диаметр  $d$  инструментов обычно не превышает 1,2 мм, а диаметр концевой части  $d_0$  находится в пределах 0,06-0,2 мм. Длина режущей части  $l_0$ , как правило, составляет от 10 до 18 мм.

Эскиз инструмента:



У эндодонтических инструментов присутствует существенный недостаток – в силу особенностей конструкции они подвержены риску поломки во время обработки корневого канала. В процессе механической обработки корневого канала зуба эти инструменты подвержены неожиданному обламыванию с застреванием обломка в канале зуба.



Если не удалить обломок, то успешно завершить лечение зуба с удалением

инфицированных тканей и пломбированием корневого канала невозможно. Дальнейшее пребывание обломка внутри канала приводит к клиническим осложнениям и, часто, к последующему удалению всего зуба. В настоящее время предложено достаточно много методов по извлечению обломков эндодонтических инструментов.

В представленной работе рассматриваются различные известные методы удаления обломков эндодонтического инструмента из канала зуба, приводятся описания принципов удаления обломков, сделан анализ преимуществ и недостатков рассмотренных методов.

Условно все известные методы можно разделить на группы по принципам их реализации.

Механические методы включают себя различные приспособления, основанные на механическом закреплении обломка к элементам этих устройств и последующее извлечение обломка. К недостаткам этих методов можно отнести ненадежное и далеко не всегда реализуемое закрепление обломка и его последующее извлечение из канала зуба.

Электрофизические и электрохимические методы достаточно разнообразны и включают в себя, например, электрохимическое растворение обломка в канале зуба, приваривание обломка к электроду и дальнейшее извлечение. Эти методы также имеют существенные недостатки, например, разрушение тканей зуба при электрохимическом разрушении обломка.

Комбинированные методы включают в себя сочетание механических и электрофизических методов. Например, ультразвуковое расшатывание обломка и его последующее механическое извлечение.

Как показал анализ, в настоящее время, несмотря на довольно высокий уровень развития стоматологии, не существует по-настоящему эффективного метода удаления обломков эндодонтического инструмента из канала зуба.

В представленной работе в качестве метода удаления обломка эндодонтического инструмента предлагается использовать метод электроэрозионного разрушения металлических материалов. Для реализации данного метода предлагается в канал зуба вводить две изолированных тонких вольфрамовых или молибденовых проволоки подсоединенных к низковольтному генератору электрических импульсов. Электрический разряд между одним из электродов и обломком инструмента будет диспергировать обломок инструмента. При этом продукты электроэрозионного разрушения, представляющие из себя металлические частицы диаметром всего несколько микрометров, будут выводиться из канала зуба деионизованной водой, подаваемой в него в процессе электроэрозионного диспергирования обломка.

В работе представлены технологическая схема для реализации предложенного метода и оценочные расчеты, позволяющие оценить время, необходимое для удаления обломка инструмента методом электроэрозионного разрушения.

В работе сделан вывод о том, что предлагаемый метод является перспективным для эффективного удаления обломков эндодонтических инструментов, однако необходимо провести дополнительные экспериментальные и теоретические исследования.

## Литература

1. *Кучевский Пётр Евгеньевич*, врач-интерн. Курсовая работа «Современные эндодонтические инструменты». Московский государственный медико-

- стоматологический университет. Кафедра стоматологии общей практики и анестезиологии ФПДО; 2011 г.
2. *US Patent №4746292*
  3. *US Patent №5879160*

**УДК 621.9.02**

## **СЕЧЕНИЕ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФРЕЗАМИ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ**

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

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

Фрезы с криволинейной режущей кромкой на цилиндрической части применяют для чернового, получистового, чистового фрезерования всех групп обрабатываемых материалов. В настоящее время изготавливают фрезы с круглой и плоской формой профиля режущей кромки [1-3]. Для правильного выбора формы режущей кромки большое значение имеет сечение слоя, срезаемого фрезой, и шероховатость обработанной поверхности.

Для изучения сечения срезаемого слоя и шероховатости обработанной поверхности в *CAD*-среде *Inventor* была разработана модель, имитирующая срезание материала фрезой с криволинейной режущей кромкой. Модель позволила получить сечение срезаемого слоя для любого участка режущей кромки в любой момент резания, а также модель поверхности, остающейся на детали после цилиндрического фрезерования плоскости фрезой с криволинейной режущей кромкой.

Правильность модели была проверена путем сравнения вида обработанных поверхностей, полученный при моделировании и фрезерованием заготовки из пластика *POM* фрезой *Sandvik R.216.33-20040* диаметром 20 мм. Вид поверхности и ее сечений вдоль подачи и вдоль оси фрезы, полученные в модели и на детали, а также размеры характерных выступов и впадин поверхностей совпадают. Кроме того, совпадает и вид стружки, полученной при моделировании и фрезеровании, из чего можно сделать вывод, что модель адекватно описывает процесс образования новой поверхности фрезерованием фрезой с криволинейной режущей кромкой.

Моделирование показало:

- максимальная высота микронеровностей на поверхности, обработанной "кукурузной" фрезой (со стружкоделительными канавками), значительно меньше, чем высота микронеровностей после фрезерования фрезой с круглой формой профиля режущей кромки;

- высота неровностей, измеренная вдоль оси фрезы с круглым профилем, значительно больше, чем высота неровностей вдоль движения подачи.

Применение разработанной модели позволило определить форму и размеры сечения срезаемого слоя (рис. 1) для разных видов криволинейных режущих кромок при различных значениях подачи на зуб  $S_z$  и количестве зубьев  $z$ . Исследовано влияние шага  $P$  и высоты  $h$  криволинейного профиля. Для анализа данных был использован

коэффициент утолщения срезаемого слоя  $K_{ут}$ , определяемый по формуле  $K_{ут} = \frac{a_{ср}}{S_z}$  и показывающий насколько срезаемый слой стал толще по сравнению с резанием фрезой с гладкой режущей кромкой. Среднюю толщину срезаемого слоя рассчитывали по формуле  $a_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$ , где  $a_i$  – толщина срезаемого слоя на  $i$ -ом участке,  $n$  – количество участков, на которые было разделено сечение срезаемого слоя.

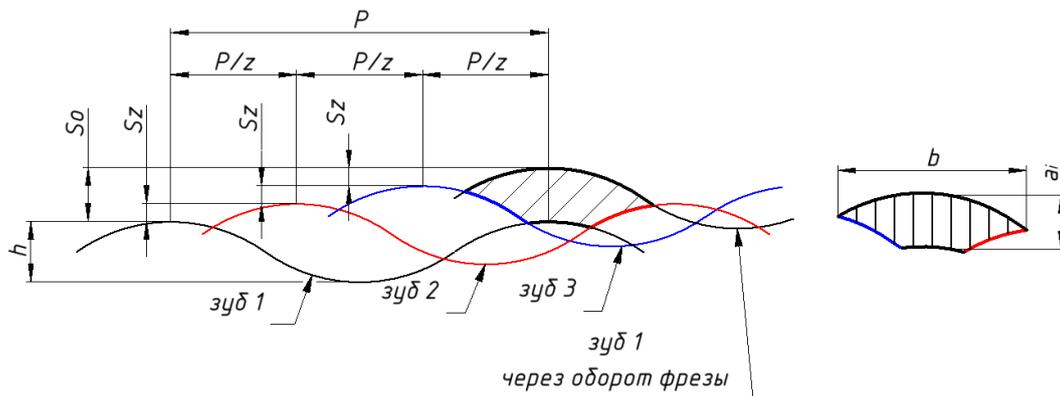


Рис.1. Образование сечения срезаемого слоя в плоскости фрезы (ширина фрезерования равна радиусу фрезы)

Установлены следующие закономерности:

- увеличение шага профиля  $P$  увеличивает ширину сечения срезаемого слоя и его площадь, утолщения стружки не происходит;
- увеличение количества зубьев  $z$  приводит к уменьшению коэффициента утолщения срезаемого слоя;
- увеличение высоты профиля  $h$  ведет к уменьшению ширины срезаемого слоя и к увеличению  $K_{ут}$ ;
- увеличение подачи на зуб  $S_z$  приводит к увеличению площади сечения срезаемого слоя и к уменьшению  $K_{ут}$ .

### Литература

1. DIN 1836. Groups of tool application for chip removal. STANDARD published 01/01/1984 by Deutsches Institut Fur Normung E.V.
2. ГОСТ 4675-71 Фрезы концевые обдирочные с затылованными зубьями и коническим хвостовиком / Режущий инструмент. Фрезы.- М.: Изд-во стандартов, 1972.- С.3-13.
3. ГОСТ 15086-69 Фрезы концевые обдирочные с коническим хвостовиком. Технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1992.- 20 с.

**УДК 621.9**

## **РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ**

Мария Юрьевна Степанова,  
студент 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

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

В современном машиностроительном производстве при обработке гладких и резьбовых отверстий все чаще используются инструменты, реализующие кинематику планетарного движения (например, при фрезеровании резьбы и гладких отверстий). При обработке по планетарной схеме, режущие элементы инструмента движутся по циклоидальным кривым, характеризующим точность и качество обработки [1,2].

Цель данной работы - разработать математическую модель траектории движения зуба резьбовой фрезы для дальнейшей оценки точности формообразования профиля резьбы.

При моделировании процесса нарезания резьбы в отверстии  $d_{отв}$  разместим систему координат  $X_1Y_1Z_1$  на торце режущего инструмента. Во время обработки фреза  $d_{фр}$  вращается против часов со скоростью  $\omega$ , рад/с, описывая окружность радиуса  $O_pO_{ф}$  относительно центра обрабатываемого отверстия. К центру фрезы  $O_{ф}$  привязана система координат  $YX_1$ , к центру отверстия – система  $XY$ . Зуб инструмента имеет профиль, соответствующий метрической резьбе по ГОСТ 24705-81. Профиль резьбы острый. Соответственно угол профиля резьбы  $\beta=60^\circ$ .

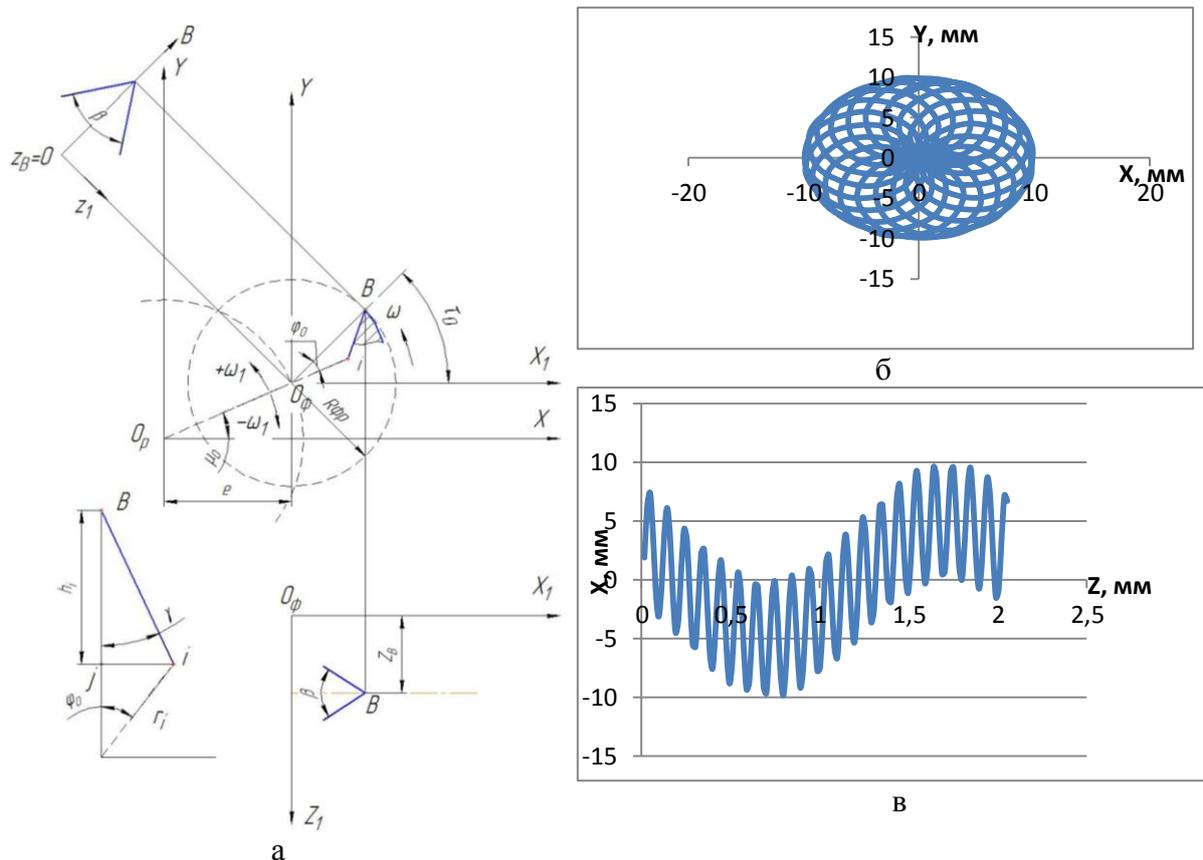


Рис. 1. Анализ траектории движения зуба резбной фрезы: а - расчетная схема; б - траектория движения инструмента в системе координат XY; в - траектория движения инструмента в системе координат XZ.

Во время обработки инструмент совершает движение по окружности против часов с угловой скоростью  $\omega_1$  (направление движения по часовой стрелке - отрицательное) и вращается против часов вокруг собственной оси со скоростью  $\omega$ . Соответственно изменение значения угловой координаты будет составлять  $\omega t$ , где  $t$  – текущее время обработки, с.

С учетом изменения значения угловой координаты с течением времени, а также после проведения некоторых математических преобразований была получена следующая система уравнений:

$$x_i = r_i \cdot \cos(\tau_0 - \varphi_0 + \omega t) + e \cdot \cos(\mu_0 \pm \omega_1 t),$$

$$y_i = r_i \cdot \sin(\tau_0 - \varphi_0 + \omega t) + e \cdot \sin(\mu_0 \pm \omega_1 t), \text{ где:}$$

$$z_i = z_0 + h_i \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \frac{P}{2\pi} \cdot \omega_1 t$$

$r_i$  – радиус, определяющий положение рассматриваемой точки на режущей кромке фрезы,  $\tau_0$  – угол, определяющий положение рассматриваемой точки в начальный момент времени,  $e$  – эксцентриситет,  $e = \frac{d_{\text{отв}} - d_{\text{фр}}}{2}$ ,  $\mu_0$  – угол, определяющий расположение центра фрезы относительно центра отверстия в начальный момент обработки.

В программе Excel был смоделирован процесс нарезания метрической резьбы с шагом  $P=2$  мм в отверстии  $d_{\text{отв}}=20$  мм фрезой  $d_{\text{фр}}=10$  мм. Угловые скорости:  $\omega=100 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ,  $\omega_1=5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . Передний угол  $\gamma=10^\circ$ . При моделировании были получены циклоидальные

кривые (рис.1 - б, в). По полученным траекториям видно, что за один оборот заготовки резьбофреза смещается на один шаг вдоль оси Z. На практике для перекрытия захода фрезы при врезании на высоту профиля резьбы инструмент перемещается на 1.25 шага.

**Вывод:** построенные по полученным математическим зависимостям циклоидальные кривые иллюстрируют планетарный характер движения инструмента при обработке. Дальнейшая работа с данной математической моделью дает возможность получить уравнение огибающей траектории движения инструмента, анализ которой позволяет оценить точность формообразования профиля резьбы при резьбофрезеровании многоночными резьбовыми фрезами.

## Литература

1. Мальков О.В., Литвиненко А.В., Жучкова И.В. Исследование технологических возможностей фрезерования отверстий инструментом с планетарным движением // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 2005.- №4.- С. 34-49.
2. Мальков О.В., Литвиненко А.В., Малькова Л.Д., Синцова И.В. Исследование технологических возможностей планетарного фрезерования наружных и внутренних цилиндрических поверхностей // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 2007.- №1.- С. 86-98.

## ПЛУНЖЕРНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ.ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАЕКТОРИИ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ.

Андрей Олегович Чигинев,  
студент 6 курса,

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Б. Д. Даниленко, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В связи с постоянным развитием металлообрабатывающих станков, особенно в области скоростей, такие методы обработки как плунжерное фрезерование становятся все более и более эффективными. Тем не менее, этот метод еще не изучен до конца и мы не знаем всех его возможностей, так же как и не имеется достаточно рекомендаций по выбору режимов обработки. В данной работе представлена попытка оценить основное технологическое время обработки с помощью предложенного алгоритма и предложены рекомендации по настройке станка перед работой.

### Описание плунжерного фрезерования:

Плунжерное фрезерование представляет собой последовательность погружений концевой фрезы в обрабатываемый материал вдоль своей оси. Дискретное движение фрезы в плоскости XY по определенной траектории формирует требуемую поверхность (см. рис. 1).

Вследствие особенностей данного вида обработки, формируемая поверхность получается фестончатая (см. рис.

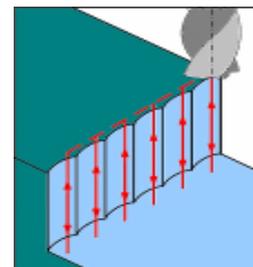


Рис. 1 : Плунжерное фрезерование уступа

1), что может потребовать дополнительного чистового прохода классическим способом. Таким образом, плунжерное фрезерование представляет собой прежде всего черновой метод обработки.

При плунжерном фрезеровании обработка осуществляется не периферийной, а торцевой частью инструмента, что кардинально перераспределяет направление усилий резания с радиальных на осевые (см. рис. 2). Это заметно снижает вибрации системы, уровень потребляемой мощности и шума, повышает стойкость инструмента. Данный метод можно сравнить с растачиванием при прерывистом резании.

При классическом концевом фрезеровании при большом вылете фрезы ( $> 4 \times D_{\text{фрезы}}$ ) наблюдается сильный отгиб фрезы, особенно при обработке углов, что затрудняет получение требуемой формы и взаимного расположения поверхностей.

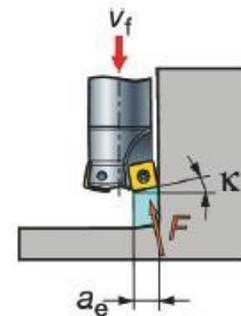


Рис. 2 : Направление сил резания при плунжерном фрезеровании

Условия применения плунжерного фрезерования:

- При вылете инструмента больше чем  $4 \times D_{\text{фрезы}}$ ;
- При нежесткой системе;
- При ограниченности станка по мощности и крутящему моменту;
- При жестких требованиях по форме и взаимному расположению в углах;
- При обработке труднообрабатываемых материалов.

Основные особенности фрез, применяемых при плунжерном фрезеровании:

- Большой объем стружечной канавки.
- Внутренние каналы для подвода СОЖ или сжатого воздуха, который вымывает/выдувает стружку.
- Тангенциальное крепление пластин на торцевой части фрезы для увеличения жесткости пластины и уменьшения изгибающих напряжений.
- Баланс между перераспределением результирующей силы вдоль оси фрезы и отсутствием трения вспомогательной режущей кромки по обработанной поверхности.

Основные области применения - обработка:

- Пазов;
- Выборок/карманов;
- Уступов/открытых профилей;
- Углов.

### **Влияние характеристик станка на эффективность плунжерного фрезерования:**

В статье [1] авторы опираются на упрощенную динамическую модель подачи фрезы, которая связывает следующие параметры: определяемый оператором силовой импульс подачи (в англоязычной литературе обозначается  $J$  – “Jerk”,  $[m^3/c]$ ), желаемая максимальная скорость подачи  $V_{\text{max}}$  и единичное перемещение фрезы  $dist$  (которая определяется формой траектории, геометрией кармана и диаметром фрезы). В результате анализа этой модели мной были получены формулы, позволяющие оценить время обработки прямоугольного кармана заданных размеров, фрезой заданного диаметра, с заданной минутной скоростью подачи.

Данная модель была подтверждена экспериментальным путем. В качестве заготовки использовался блок алюминия. Необходимо было получить прямой паз глубиной 30 мм и длиной 90 мм фрезой CoroMill Plura фирмы Sandvik диаметром 20

мм, высота холостого хода над деталью 10 мм, шаг 3,05 мм. Полученное расхождение измеренного времени с оцененным не превышало 3,6%.

Итак, при фрезеровании максимальная скорость подачи определяется возможностями станка или условиями обработки (материал режущей части, обрабатываемый материал, конструкция инструмента и др.). Существует определенное минимальное расстояние между двумя точками остановки фрезы ( $dist_{min}$ ), на котором она может достичь своей заданной максимальной скорости. Дабы минимизировать суммарное время обработки, оптимальный силовой импульс  $J$ , необходимый для достижения заданной скорости без появления вибраций в системе, можно рассчитать по формуле:

$$J_{min} = \frac{4v_{max}^3}{dist^2} \leq J_{optimal} < 10 \cdot J_{min}, \text{ где } dist \\ = \{ \text{глубина} + \text{высота холостого хода, шаг} \}$$

### Литература

1. М. Рош, Ж.-И. Аскуэ. Черновое фрезерование выборок и карманов трохоиальным и плунжерным методами.
2. Д. Хун Кхо, Ю. Альтинтас. Динамика и устойчивость операций плунжерного фрезерования // «Journal of Manufacturing Science and Engineering». – Июль 2006 г.
3. Б. Кеннеди. Плунжерное фрезерование // «Cutting Tool Engineering Plus». – Март 2012 г.
4. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)
5. [www.kennametal.com](http://www.kennametal.com)

УДК 621.7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЬБЫ РЕЗЬБОДЕФОРМИРУЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Владимир Владимирович Чугунов,

*студент 6 курс,*

*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»*

На кафедре "Инструментальная техника и технологии" ведется работа по изготовлению и исследованию инструмента, работающего по способу планетарного раскатывания резьбы.

Проведя патентный анализ конструкций инструмента данного профиля, а также проанализировав конструкцию инструмента в работе [1] было решено разработать инструмент с профильным соединением деформирующих колец и базовой поверхности корпуса, позволяющим устанавливать угловое взаимное расположение колец друг относительно друга для уменьшения силы при накатывании. Основным преимуществом профильных соединений является свойство автоматического центрирования под передаваемой нагрузкой и отсутствие концентраторов напряжений [2,3].

Сборный инструмент представляет собой оправку, на которой установлены профильные деформирующие кольца (диски) (рис. 1, а). Для базирования диска по торцу, а также в зависимости от числа дисков и их толщины (в зависимости от шага резьбы) на оправку установлена точно изготовленная проставка, определяющая осевое положение колец. Осевое фиксирование дисков осуществляется винтом с шайбой. Диски расположены с шагом равным шагу резьбы и имеют профиль, подобный профилю резьбы. Образующие диска (рис.1, б) получены перемещением профиля по кривой некруглой формы, являющейся наклонным сечением диска плоскостью, расположенной под углом (для шага 2 мм угол равен  $0^{\circ}18'$ ). Отсутствие проворота гарантировано за счет бесшпоночного соединения с зазором колец и оправки.

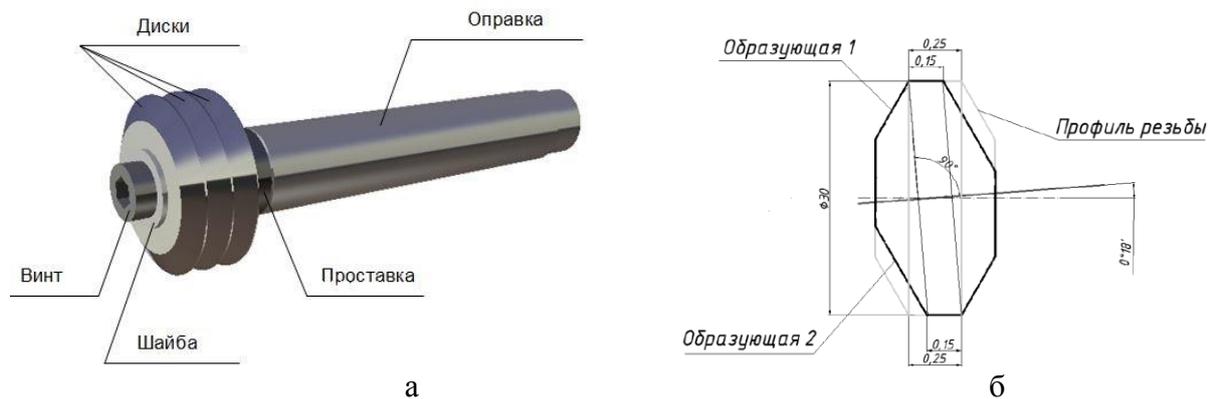


Рис. 1. Конструкция инструмента: а - инструмент в сборе, б - деформирующее кольцо.

Разработана технология изготовления инструмента для обработки метрической резьбы от М30 с шагом 2 мм. Профильные кольца имеют диаметр 30 мм, отверстие – РК-3 профиль с диаметром описанной окружности 19,12 мм и толщину 2 мм. Общая длина оправки составляет 105 мм, хвостовая часть – конус Морзе 3. Материал рабочей части инструмента – сталь Р6М5, оправки – сталь 45. Инструмент предназначен для изготовления резьбы в легкообрабатываемых материалах.

Инструмент в процессе работы совершает главное движение (вращение вокруг оси) и движения подачи - вращение по диаметру накатываемой резьбы и поступательное движение вдоль оси отверстия, равного шагу резьбы за один планетарный оборот. Вращение инструмента вокруг своей оси обеспечивает процесс деформирования резьбы путем плавного изменения угла наклона образующих профильных колец. В процессе обработки за полный оборот кольца вокруг своей оси (оси оправки) профиль кольца последовательно размещается в полном объеме канавки из-за своей несимметричности, тем самым выдавливая материал (рис. 2,а). Таким образом, за счет угла наклона направляющей деформирующего профиля диска создается осевое колебание профиля диска, создающего дополнительное ударное воздействие при накатывании резьбы.

Процесс пластического деформирования был смоделирован в системе *DEFORM 3D*. Получены профили впадины резьбы (рис. 2,а) с разной величиной высоты волны подъема материала при линейной скорости диска 2 мм/с и шаге резьбы 1мм. Изучен характер ударного воздействия осевого колебания профиля диска на упрочнение поверхности резьбы, которая была представлена в виде продольной канавки с треугольным профилем, соответствующим профилю исследуемой резьбы (рис. 2,б).

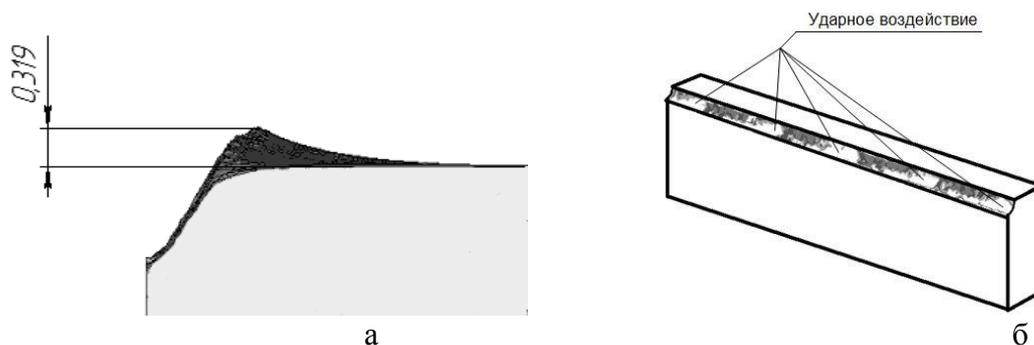


Рис. 2. Результат моделирования в системе DEFORM 3D: а – резьбовой профиль, б – ударное воздействие.

На рис. 2,а показан полученный профиль метрической резьбы с выраженным течением материала заготовки. При обработке с ударом (рис. 2,б) происходит упрочнение материала заготовки (светлые зоны на участке резьбового профиля).

**Выводы:**

1. Разработан технологический процесс изготовления инструмента.
2. Моделирование в системе *DEFORM 3D* позволило оценить характер изменения высоты профиля резьбы в зависимости от шага (0,75; 1; 1,5; 2; 2,5 мм) резьбы и линейной скорости диска (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2 мм/с). Подтверждено наличие ударного упрочнения профиля резьбы при обработке.

**Литература**

1. *Чихарева М. А.* Разработка конструкции и технологии изготовления резьбдеформирующего инструмента. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана. – № гос. регистрации 0321300796. – URL: [studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=818](http://studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=818) (дата обращения: 08.03.2014). – Загл. с экрана.
2. Оптимальная технология изготовления резьб. *Якухин В.Г.* - М.: Машиностроение, 1985. - 184 с.
3. *Тимченко А.И.* Технология изготовления деталей профильных бесшпоночных соединений. - М.: МосСтанкин, 1988. - 159 с.

**УДК 621.941.1**

**РАЗРАБОТКА СФЕРОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Никита Владимирович Эйдельман,  
 студент 6 курса,  
 кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
 Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: Грубый Сергей Витальевич,  
 доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В оптике широко используются элементы с рабочими поверхностями сферической формы, изготовленные из оптических стекол различных марок. Целью работы является разработка станка, предназначенного для предварительной обработки сферических поверхностей на оптическом стекле методом принудительного формообразования по схеме рис. 1. Окончательная обработка оптической поверхности предусмотрена на полировально-доводочном станке.

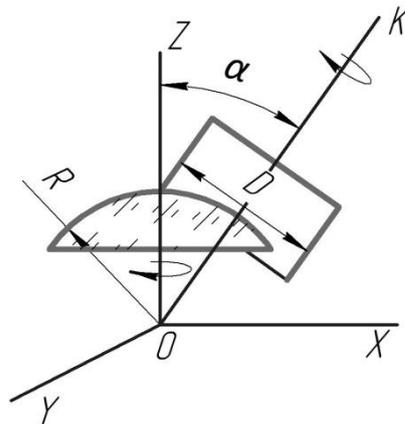


Рис. 1. Схема обработки сферической поверхности

Станок позволяет осуществить предварительное шлифование поверхности, точность обработки определяется точностью станка, шероховатость поверхности в пределах от  $Rz=20$  до  $Ra=1.6$ .

Разработана кинематическая схема станка, показанная на рис. 2.

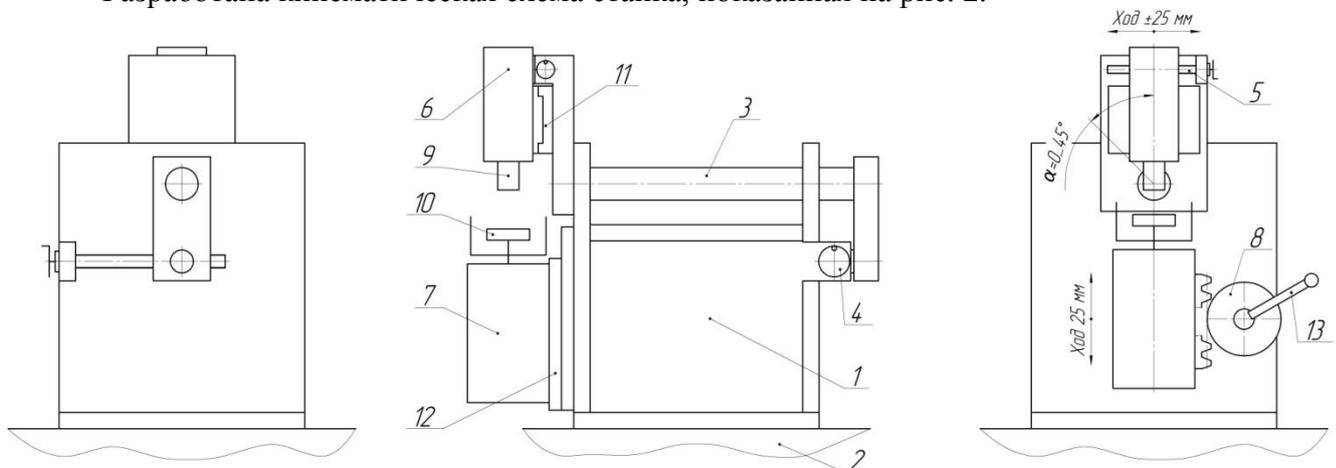


Рис. 2. Схема сфершлифовального станка

Станок укомплектован двумя частотно-регулируемыми приводами для вращения инструмента 9 и заготовки 10. Сварная станина 1 крепится к основанию 2, стоящему на полу цеха. Настройка на угол  $\alpha$  осуществляется поворотом привода главного движения 6 вокруг оси 3 с помощью передачи винт-гайка 4. Настроечное перемещение привода инструмента вдоль направляющих качения 11 до совпадения кромки круга с осью вращения заготовки осуществляется при помощи передачи винт-гайка 5. Вертикальное перемещение каретки 7 вдоль направляющих качения 12 осуществляется при помощи передачи колесо-рейка 8 посредством поворота рукоятки 13.

Расчет привода главного движения выполнен по эмпирическим зависимостям, приведенным ниже, предназначенным для расчета сил при торцевом шлифовании твердого сплава чашечными алмазными кругами. Анализ литературных источников

показал, что зависимости сил резания при шлифовании оптического стекла отсутствуют, введен поправочный коэффициент  $K_{\Pi}$ . Радиальная и тангенциальная составляющие силы шлифования рассчитаны по формулам:

$$P_y = C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot v_1^{y_{py}} \cdot v^{z_{py}} \cdot F^{m_{py}} \cdot \prod_{i=1}^m K_{yi} \cdot K_{\Pi}, \text{ кгс};$$

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot v_1^{y_{pz}} \cdot v^{z_{pz}} \cdot F^{m_{pz}} \cdot \prod_{i=1}^m K_{zi} \cdot K_{\Pi}, \text{ кгс};$$

где  $t$  – глубина шлифования, мм;  $v_1$  – скорость детали, м/мин;  $v$  – скорость круга, м/с;  $F$  – площадь контакта круга с деталью, мм<sup>2</sup>;  $\prod_{i=1}^m K_i$  – произведение поправочных коэффициентов.

$$\prod_{i=1}^m K_{yi} = K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3} \cdot K_{y4} \cdot K_{y5} = 1,77 \cdot 1,23 \cdot 1 \cdot 1 = 2,177;$$

$$\prod_{i=1}^m K_{zi} = K_{z1} \cdot K_{z2} \cdot K_{z3} \cdot K_{z4} \cdot K_{z5} = 1,71 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 = 2,309;$$

где  $K_1$  учитывает на марку алмаза (А);  $K_2$  – зернистость (80/63);  $K_3$  – концентрацию абразива (50%);  $K_4$  – охлаждение (водный раствор);  $K_5$  – марку твердого сплава (ВК8).

При расчете рассмотрен частный случай шлифования плоскости, где инструмент – алмазное кольцо с внешним диаметром  $D=50$  мм, внутренним диаметром  $d=46$  мм. В расчете принята глубина шлифования  $t=0,004$  мм, частота вращения круга  $n=7000$  об/мин, частота вращения заготовки  $n_d=500$  об/мин. Принят материал заготовки – стекло оптическое марки К8.

По литературным данным при переходе от твердого сплава ВК8 к оптическому стеклу марки К8 значение поправочного коэффициента принято:  $K_{\Pi}=0,7$ .

Тогда максимальная площадь контакта и соответствующие силы шлифования составят:

$$F = \frac{\pi}{8} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{8} \cdot (50^2 - 46^2) = 150,8 \text{ мм}^2;$$

$$P_y = 9,81 \cdot 44 \cdot 0,004^{0,88} \cdot 7,85^{0,6} \cdot 18,33^{-0,83} \cdot 150,8^{0,87} \cdot 2,177 \cdot 0,7 = 123,5 \text{ Н};$$

$$P_z = 9,81 \cdot 1,6 \cdot 0,004^{0,71} \cdot 7,85^{0,6} \cdot 18,33^{-0,71} \cdot 150,8^{1,15} \cdot 2,309 \cdot 0,7 = 70,4 \text{ Н}.$$

Крутящий момент и мощность шлифования будут, соответственно:

$$M_R = 1,75 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad N_R = 1,3 \text{ кВт}.$$

Расчетные значения по силам, крутящему моменту и мощности шлифования будут использованы для выбора двигателей вращения инструмента и заготовки.

## Литература

1. Справочник технолога-оптика. Под общ. ред. С. М. Кузнецова и М. А. Окатова – Л.: Машиностроение, 1983. – 414 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. А. Н. Резникова – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
3. Альтшуллер В.М., Герасимов С.А., Грималюк М.В. Алмазный инструмент для обработки оптических деталей // Оптический журнал. – 2011. № 4. – С. 25–32.



### **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

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ

Руслан Рубенович Асатуров, Юрий Олегович Потяшин, Николай Юрьевич Челюканов,  
*студенты 6 курса,*  
*кафедра «Технологии машиностроения»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.И. Усачев,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»*

Производственные участки механосборочных цехов представляют собой сложные системы, состоящие из достаточно большого количества оборудования, имеющего различную организационную структуру. Особый интерес представляют автоматизированные участки, при проектировании которых целесообразно выявить «узкие» места и определить резервы повышения производительности за счет перераспределения грузопотоков и оптимизации технологического процесса. Для предварительного анализа работы автоматизированных участков используются различные виды моделей, к числу которых относятся:

- аналитические;
- сетевые;
- имитационные.

Аналитическая модель включает в себя совокупность математических объектов и отношений между ними. Из-за большой размерности входящих в модель объектов в неё вводят ряд допущений. Это обуславливает приблизительный характер получаемых результатов.

Сетевой моделью называют модель, отражающую комплекс работ и событий, связанных с реализацией некоторого производственного процесса в их логической и технологической последовательности и связи. Сетевые модели используются для предварительной оценки работы производственного участка.

Имитационные модели (англ. simulation models) – один из основных классов математического моделирования. Целью имитаций является максимальное приближение модели к конкретному объекту и достижение максимальной точности его описания. Применительно к анализу производственных систем и участков имитационное моделирование позволяет на этапе проектирования минимизировать время обработки; увеличить коэффициент использования оборудования; уменьшить объем незавершенного производства.

В работе с помощью программного продукта имитационного моделирования Tecnomatix Plant Simulation проведен анализ работы автоматизированного участка, состоящего из нескольких групп взаимозаменяемого оборудования, на которых реализуются групповые технологические процессы обработки деталей заданного класса. Каждый станок, накопитель и автоматизированный склад объединены общей автоматизированной транспортной системой.

В интерфейсе применяемого программного обеспечения имитационная модель реализуется с использованием блочного принципа, позволяющего всю моделируемую систему разбить на ряд подсистем, связанных между собой незначительным числом обобщенных взаимодействий и допускающих самостоятельное моделирование с использованием своего собственного математического аппарата. Такой подход

позволяет также достаточно просто конструировать, путем замены отдельных блоков, новые имитационные модели.

В качестве блоков выступают склады, накопители и станки, направленные связи между которыми обозначают направление грузопотока. На рис. 1 показано графическое представление имитационной модели в интерфейсе программного продукта Tecnomatix Plant Simulation.

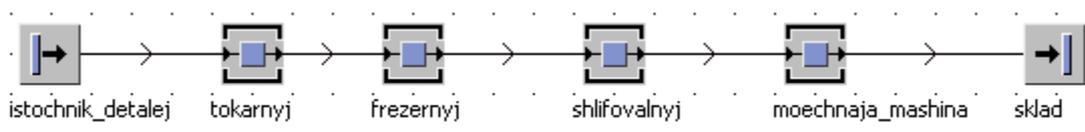


Рис. 1. Вид имитационной модели участка механической обработки

В работе исследовалась имитационная модель автоматизированного участка, на котором обрабатывались детали типа тела вращения шести наименований с заданными значениями оперативного времени. Обработка деталей выполняется на трех группах оборудования (токарная, фрезерная, шлифовальная). Общее количество станков в системе в соответствии с предварительными расчетами было принято равным 4 (с учетом моечной машины). На основе предварительно разработанной планировки намечена структура участка, размерные связи между соответствующими элементами системы.

В результате цикла моделирования исходного участка системы была выявлена необходимость уменьшить время простоя токарных и фрезерных станков. Для решения данной проблемы рассмотрены варианты применения дополнительных накопителей с определением их ёмкости.

Для этого исходная модель была модифицирована за счет дополнительных блоков, имитирующих работу накопителей. После повторных циклов моделирования работы участка были получены следующие результаты:

- 1) Установка накопителей позволила сократить время простоев токарного станка на 14,16%, фрезерного станка – на 15,42%;
- 2) Оптимальная емкость накопителя №1 и №2 составила 25 шт.
- 3) После оптимизации производительность участка возросла на 27,7%.

Предложенный анализ работы производственных участков был использован при проведении лабораторных работ по курсу «Проектирование цехов механосборочного производства».

## Литература

1. *Steffen Bangsow*. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk Usage and Programming with Examples and Solutions. — Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. — ISBN 978-3-642-05073-2
2. *Сырецкий Г.А.* Моделирование систем: лабораторный практикум. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – Ч.3. – 38с.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ

Сергей Владимирович Беляков<sup>(1)</sup>, Даниил Андреевич Иконников<sup>(2)</sup>,  
*студент 6 курса<sup>(1)</sup>,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
студент 6 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.А. Заставный,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

Современный авиационный комплекс (АК) представляет собой очень сложную конструкцию, состоящую из большого кол-ва различных по форме, размерам, материалам, условиям работы и назначению изделий авиационной техники [1].

После потери изделиями работоспособного состояния их снимают с эксплуатации, и отправляют в ремонт. Основными причинами поступления изделий авиационной техники в ремонт являются:

- износ элементов конструкции;
- конструктивные недостатки и производственные дефекты;
- нарушения правил эксплуатации.

Согласно данным, полученным из опытной эксплуатации самолета ТУ-204-300 авиакомпанией ОАО «Владивосток Авиа» наибольшее кол-во претензий возникало к следующим комплектующим самолет изделиям:

- тормозные диски, тормоз и колесо;
- гидронасосы;
- силовые гидроцилиндры;
- двигатель ПС-90А.

В результате выхода из строя какого-либо вышеперечисленного агрегата увеличивается время простоя воздушного судна из-за отсутствия запасных частей, и как следствие возрастают расходы на поддержание летной годности и стоимость летного часа. В итоге это приводит к снижению рыночной привлекательности самолета и уменьшению его покупательского спроса [2]. Данные по затратам на внеплановый ремонт в процентном соотношении представлены на рисунке 1.

Как видно из диаграммы, существует необходимость снижения затрат на внеплановый ремонт современного АК.

Из отчетного доклада президиума РАН за 2012г.: «Получает развитие механика поверхностных слоев. На основе фундаментальных достижений механики деформируемого твердого тела и физики твердого тела разрабатываются технологии создания систем подложка-покрытие с бездефектными и износостойкими покрытиями для применения в нанoeлектронике и космической технике; в области трибологии предложены модели и методы расчета фрикционного взаимодействия с учетом микромасштабной поверхностной шероховатости».

Из плана фундаментальных исследований РАН на период до 2025г. в именовании проблемы машиноведения раздела 3.3.6. «Комплексные проблемы машиноведения; повышение безопасности машин, снижение техногенных и

технологических рисков для объектов гражданского и оборонного назначения” научной задачей является:

“Повышение износостойкости поверхностей трения деталей машин путем управления их трибологическими свойствами на основе реализации «правила положительного градиента» механических свойств по глубине слоя”.

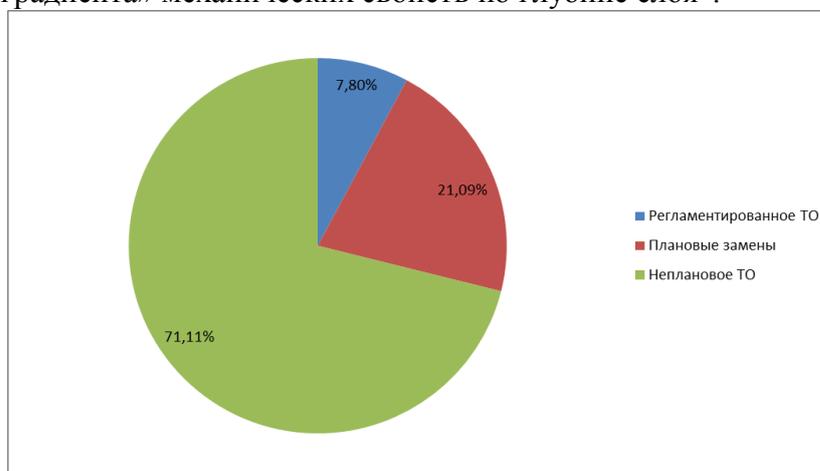


Рис. 1. Диаграмма затрат на техническое обслуживание самолета ТУ-204-300

В ходе непосредственной работы на предприятии ОАО “Туполев” нами были выявлены отказы гидросистем самолетов по таким причинам как: разгерметизация гидроцилиндра, разрушение штока и т.п. Выявление причин возникновения данных отказов будет являться частью данной исследовательской работы.

Значительный интерес для решения проблемы повышения износостойкости и продления срока службы работы данных узлов представляет использование прогрессивных методов поверхностного упрочнения, позволяющих получить на деталях, изготовленных из конструкционных сталей, поверхностные слои, обладающие требуемым уровнем износостойких свойств. К таким технологиям относятся методы поверхностной закалки, химико-термической обработки и поверхностного пластического деформирования. Нами был проведен сравнительный анализ данных методов и выявлены основные критерии их использования, в результате которого сделан вывод о несовершенстве используемых методов поверхностного упрочнения и предложен новый технологический метод поверхностного упрочнения деталей из высокопрочных сталей.

При использовании суперпозиционного метода удалось достичь требуемое качество поверхности изделий при снижении экономических затрат и трудоемкости процесса.

## Литература

1. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: Учеб. Для вузов/ Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко. и др.; Под ред. Н.Н. Смирнова. -М.: Транспорт, 1990. -423с.
2. Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. -М.: Машиностроение, 1986. -184 с., ил.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА УВЛАЖНЕННУЮ ПОРОШКОВУЮ СРЕДУ

Краснов Константин Евгеньевич<sup>(1)</sup>, Викторов Алексей Вячеславович<sup>(1)</sup>, Сизов Николай Александрович<sup>(2)</sup>, Малевский Алексей Евгеньевич<sup>(3)</sup>, Боронина Екатерина Николаевна<sup>(3)</sup>,  
*студент 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3 года<sup>(2)</sup>, студент 4 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и Омд»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В. Н. Кокорин,  
доктор технических наук, профессор, и заведующий кафедры «Материаловедение и Омд»*

Порошковые детали конструкционного назначения должны обладать высокой плотностью и прочностью, приближающимися к плотности и прочности деталей, изготовленных из проката и литья.

Разработан способ прессования металлического порошка в присутствии жидкой фазы [1] при получении порошковых структур плотностью, приближенной к теоретической в результате перемещения одной из фаз структурнонеоднородного гетерофазного материала. Установлено, что при введении жидкости малой вязкости (например, воды, ацетона) в количестве 10...15 % массовой доли создаются условия формирования высокоплотных деталей с остаточной пористостью, не превышающей 3 %, что позволит использовать данную технологию для изготовления сильно нагруженных изделий машиностроительного назначения.

Предложена новая технология прессования увлажненных механических смесей с наложением ультразвуковых колебаний [2], позволяющая интенсифицировать процесс уплотнения дисперсных материалов. Установлено, что при статическом уплотнении гетерофазных увлажнённых механических систем с наложением на дисперсную структуру внешнего УЗ-воздействия в процессе уплотнения создается условие гомогенного распределения частиц порошка, при этом НДС пористого металла характеризуется однородностью.

Экспериментально установлены общие закономерности постадийного уплотнения гетерофазных увлажненных механических систем.

По экспериментальным данным построены графики изменения плотности структуры в процессе нагружения (рис. 1), при анализе которых, отмечено существенное отличие от статического уплотнения увлажненных гетерофазных механических смесей, а также установлено изменение границ стадий прессования, определена стадийность уплотнения с использованием метода фиксирования характерных этапов структурообразования [2].

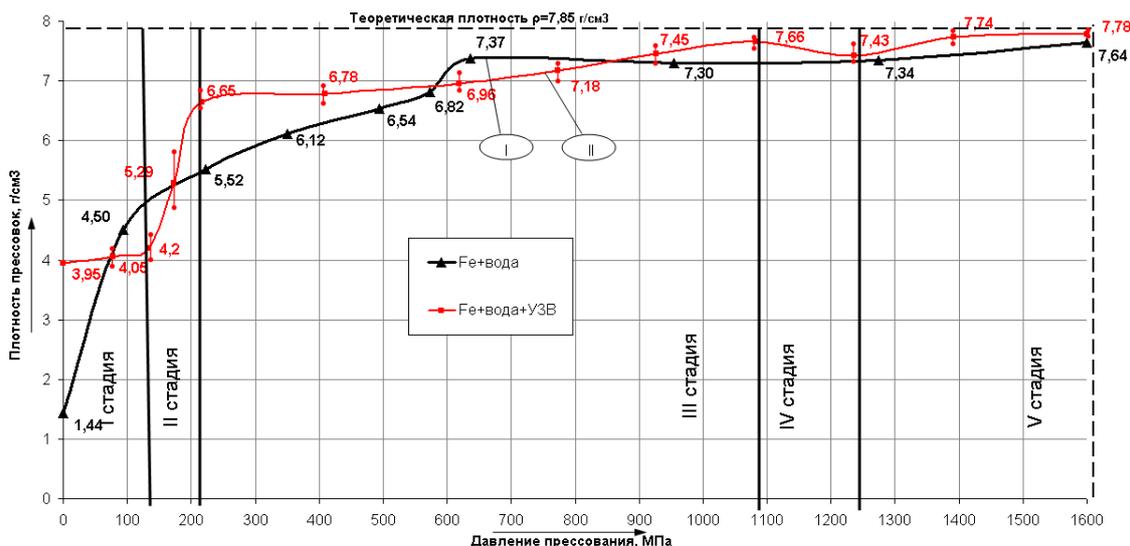


Рис. 1. Кривые уплотнения

На второй стадии прессования наблюдается резкое увеличение плотности прессуемого изделия до  $6,5 \text{ г/см}^3$  при давлении 200 МПа, протяженность стадии сократилась с 600 до 200 МПа. При статическом уплотнении данный уровень плотности достигается лишь на третьей стадии при давлении 700 МПа, что позволяет существенно снизить энергосиловые параметры используемого оборудования при изготовлении деталей ответственного назначения.

На пятой стадии прессования достигается плотность  $7,78 \text{ г/см}^3$ , что соответствует 99% от теоретической плотности компактного материала. Плотность на завершающей стадии уплотнения сопоставимая со статическим прессованием ( $7,64 \text{ г/см}^3$ ), достигается при усилии прессования 1300МПа, что на 20% сокращает потребные усилия.

Был поставлен и реализован полнофакторный эксперимент по изучению уплотнения завершающей стадий прессования: основные технологические характеристики: коэффициент полезного действия УЗ генератора, начальная влажность механической смеси, относительный межинструментальный односторонний зазор, откликом принята – остаточная пористость механической смеси.

Получена комплексная параметрические модель в виде полиномов множественного порядка, определяющая влияние мощности, зазора и влажности на плотность 5-ой стадии прессования железосодержащих порошков: (факторы включенные в модель – статистически значимы, гипотезы об информационной способности и адекватности полиномиальной модели со всеми значимыми коэффициентами регрессии проверялись по критерию Фишера).

$$P = 8.403 - 5.556 \frac{N_e}{N_n} - 12.5W - 100 \frac{Z}{D},$$

где  $P$  - остаточная пористость,  $N_e$  - выходная мощность УЗ-генератора,  $N_n$  - потребляемая мощность УЗ-генератора,  $W$  - начальная влажность механической смеси,  $Z$  - односторонний зазор,  $D$  - диаметр прессовки.

Для получения структур теоретической плотности при изготовлении деталей конструкционного назначения с высоким уровнем физико-механических свойств наиболее целесообразным является применение методов интенсивного структурообразования с использованием гетерогенных механических увлажненных систем.

Предложенный способ прессования позволяет получать изделия, остаточная пористость которых составляет 1-2% от теоретической, что дает возможность достигать механических свойств сопоставимых с литыми структурами.

Установлены общие закономерности постадийного уплотнения гетерогенных механических систем с различным фазовым состоянием, установлены технологические и деформационные характеристики изменения порового состояния. Разработана физическая постадийная модель структурообразования, получена комплексная параметрическая модель.

### Литература

1. *Кокорин В.Н.* Разработка технологии прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа для получения высокоплотных заготовок: дис. ... докт. тех. наук: 05.16.06 / *Кокорин Валерий Николаевич.* – Санкт-Петербург., 2011. – 336с.
2. *Кокорин В.Н.* Способ прессования с наложением уз-воздействия увлажненных механических смесей на основе железа / *В.Н. Кокорин, В.И. Филимонов, Н.А. Сизов, Д.П. Груздев* // Вестник УлГТУ. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 24-27.

УДК.621.01

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ

Сергей Владимирович Беляков<sup>(1)</sup>, Даниил Андреевич Иконников<sup>(2)</sup>, Алексей Анатольевич Карась<sup>(3)</sup>,  
студент 5 курса<sup>(1)</sup>,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана,  
Калужский филиал  
студент 6 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
студент 6 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: Куркин С.А.,<sup>(1)</sup> Вяткин А.Г.<sup>(2)</sup>  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Кафедра общей и специальной физики»,  
Московский Инженерно-Физический Институт.<sup>(1)</sup>,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»,  
Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана  
Калужский филиал<sup>(2)</sup>

Основной проблемой развития промышленности и науки являются материалы, качество и тип структуры которых напрямую влияют на свойства создаваемых изделий. Основным материалом для промышленности сейчас является сталь, которая постепенно утрачивает свою значимость ввиду повышения требований к материалам и, соответственно, её неспособности выполнения этих требований из-за морально

устаревающей структуры. Поэтому сейчас всё чаще возникает вопрос о дальнейшем совершенствовании материалов.

Всего в современном машиностроении и науке существуют три точки зрения по поводу материалов:

1. Нет необходимости в очень серьёзном улучшении их структуры, т.к. на них можно нанести покрытие, отвечающее предъявляемым требованиям. Соответственно необходимо делать основной упор на создание новых покрытий и/или улучшение уже существующих.
2. Необходимо взамен устаревающих материалов создавать принципиально новые материалы. При этом совершенствованию покрытий отводится меньшая роль.
3. Необходимо помимо создания принципиально новых материалов искать пути улучшения уже существующих. При этом также не забывать о покрытиях.

Однако создание принципиально новых материалов в соответствии с предъявляемыми на данный момент времени требованиями и возможностью их дальнейшего широкого улучшения требует значительных затрат времени.

К тому же в некоторых случаях создание принципиально нового материала может оказаться невозможным. Поэтому для решения некоторых особо важных задач науки и повышения свойств и безопасности широко создаваемых сейчас изделий необходимо искать возможные пути окончательного улучшения структуры создаваемых сталей.

Для подтверждения актуальности этой проблемы и возможности её решения необходимо провести сбор информации о уже проведённых работах в данном направлении и их анализ.

В данной работе проведено изучение недавно созданных наноструктурированных сталей (и сталей с улучшенной структурой) и сравнительный анализ их физико-механических свойств по отношению к уже используемым сталям. А также собрана и проанализирована информация о некоторых способах их получения с использованием известных на данный момент науке технологий.

В дальнейшем необходимо будет продолжить вести работы в данном направлении, делая основой упор на развитие экологической безопасности и освоение космоса.

## Литература

1. Основы металловедения: Учебник для техникумов. *Лахтин Ю.М.*-М.:Металлургия, 1988.320с.

**УДК 53.084.823**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА УВЛАЖНЕННУЮ ПОРОШКОВУЮ СРЕДУ

Краснов Константин Евгеньевич<sup>(1)</sup>, Викторов Алексей Вячеславович<sup>(1)</sup>, Сизов Николай Александрович<sup>(2)</sup>, Малевский Алексей Евгеньевич<sup>(3)</sup>, Боронина Екатерина Николаевна<sup>(3)</sup>,  
*студент 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3 года<sup>(2)</sup>, студент 4курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и Омд»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Научный руководитель: В. Н. Кокорин,  
доктор технических наук, профессор, и заведующий кафедры «Материаловедение и  
ОМд»

Порошковые детали конструкционного назначения должны обладать высокой плотностью и прочностью, приближающимися к плотности и прочности деталей, изготовленных из проката и литья.

Разработан способ прессования металлического порошка в присутствии жидкой фазы [1] при получении порошковых структур плотностью, приближенной к теоретической в результате перемещения одной из фаз структурнонеоднородного гетерофазного материала. Установлено, что при введении жидкости малой вязкости (например, воды, ацетона) в количестве 10...15 % массовой доли создаются условия формирования высокоплотных деталей с остаточной пористостью, не превышающей 3 %, что позволит использовать данную технологию для изготовления сильно нагруженных изделий машиностроительного назначения.

Предложена новая технология прессования увлажненных механических смесей с наложением ультразвуковых колебаний [2], позволяющая интенсифицировать процесс уплотнения дисперсных материалов. Установлено, что при статическом уплотнении гетерофазных увлажнённых механических систем с наложением на дисперсную структуру внешнего УЗ-воздействия в процессе уплотнения создается условие гомогенного распределения частиц порошка, при этом НДС пористого металла характеризуется однородностью.

Экспериментально установлены общие закономерности постадийного уплотнения гетерофазных увлажненных механических систем.

По экспериментальным данным построены графики изменения плотности структуры в процессе нагружения (рис. 1), при анализе которых, отмечено существенное отличие от статического уплотнения увлажненных гетерофазных механических смесей, а также установлено изменение границ стадий прессования, определена стадийность уплотнения с использованием метода фиксирования характерных этапов структурообразования [2].

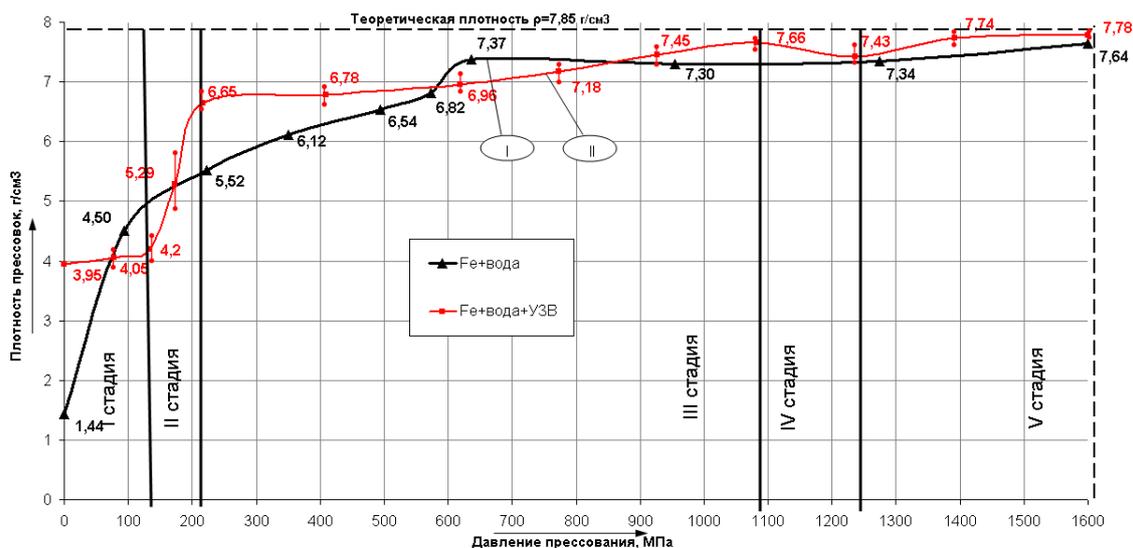


Рис. 1. Кривые уплотнения

На второй стадии прессования наблюдается резкое увеличение плотности прессуемого изделия до  $6,5 \text{ г/см}^3$  при давлении 200 МПа, протяженность стадии сократилась с 600 до 200 МПа. При статическом уплотнении данный уровень

плотности достигается лишь на третьей стадии при давлении 700 МПа, что позволяет существенно снизить энергосиловые параметры используемого оборудования при изготовлении деталей ответственного назначения.

На пятой стадии прессования достигается плотность 7,78 г/см<sup>3</sup>, что соответствует 99% от теоретической плотности компактного материала. Плотность на завершающей стадии уплотнения сопоставимая со статическим прессованием (7,64 г/см<sup>3</sup>), достигается при усилии прессования 1300 МПа, что на 20% сокращает потребные усилия.

Был поставлен и реализован полнофакторный эксперимент по изучению уплотнения завершающей стадий прессования: основные технологические характеристики: коэффициент полезного действия УЗ генератора, начальная влажность механической смеси, относительный межинструментальный односторонний зазор, откликом принята – остаточная пористость механической смеси.

Получена комплексная параметрические модель в виде полиномов множественного порядка, определяющая влияние мощности, зазора и влажности на плотность 5-ой стадии прессования железосодержащих порошков: (факторы включенные в модель – статистически значимы, гипотезы об информационной способности и адекватности полиномиальной модели со всеми значимыми коэффициентами регрессии проверялись по критерию Фишера).

$$P = 8.403 - 5.556 \frac{N_g}{N_n} - 12.5W - 100 \frac{Z}{D},$$

где  $P$  - остаточная пористость,  $N_g$  - выходная мощность УЗ-генератора,  $N_n$  - потребляемая мощность УЗ-генератора,  $W$  - начальная влажность механической смеси,  $Z$  - односторонний зазор,  $D$  - диаметр прессовки.

Для получения структур теоретической плотности при изготовлении деталей конструкционного назначения с высоким уровнем физико-механических свойств наиболее целесообразным является применение методов интенсивного структурообразования с использованием гетерогенных механических увлажненных систем.

Предложенный способ прессования позволяет получать изделия, остаточная пористость которых составляет 1-2% от теоретической, что дает возможность достигать механических свойств сопоставимых с литыми структурами.

Установлены общие закономерности постадийного уплотнения гетерогенных механических систем с различным фазовым состоянием, установлены технологические и деформационные характеристики изменения порового состояния. Разработана физическая постадийная модель структурообразования, получена комплексная параметрические модель.

## Литература

1. *Кокорин, В.Н.* Разработка технологии прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа для получения высокоплотных заготовок: дис. ... докт. тех. наук: 05.16.06 / Кокорин Валерий Николаевич. – Санкт-Петербург., 2011. – 336с.
2. *Кокорин В.Н.* Способ прессования с наложением уз-воздействия увлажненных механических смесей на основе железа / В.Н. Кокорин, В.И. Филимонов, Н.А. Сизов, Д.П. Груздев // Вестник УлГТУ. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 24-27.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕСОВАНИЕ УВЛАЖНЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НАЛОЖЕНИЕМ УЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Краснов Константин Евгеньевич<sup>(1)</sup>, Викторов Алексей Вячеславович<sup>(1)</sup>, Сизов Николай Александрович<sup>(2)</sup>, Малевский Алексей Евгеньевич<sup>(3)</sup>, Боронина Екатерина Николаевна<sup>(3)</sup>,

студент 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3 года<sup>(2)</sup>, студент 4 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и Омд»,  
Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В. Н. Кокорин,  
доктор технических наук, профессор, и заведующий кафедры «Материаловедение и Омд»

Предложена новая технология прессования увлажнённых механических смесей с наложением ультразвуковых колебаний [1], позволяющая интенсифицировать процесс уплотнения дисперсных материалов. Установлено, что при статическом уплотнении гетерофазных увлажнённых механических систем с наложением на дисперсную структуру внешнего ультразвукового (УЗ) воздействия в процессе уплотнения создается условие гомогенного распределения частиц порошка, при этом напряженно-деформированное состояние (НДС) пористого металла характеризуется однородностью. Распределение давления и плотности по объему прессовки становится более равномерным вследствие снижения трения порошка на деформирующий инструмент, а за счет снижения межчастичного трения достигается более плотная упаковка частиц порошка и соответственно более высокая плотность получаемого изделия. Отмечено, что в результате возникновения эффектов кавитации увеличивается растворимость воздуха пор в жидкой фазе механической смеси, что увеличивает качество штампуемых изделий.

Проведены комплексные исследования с целью выявления функциональных (качественных и количественных) связей между контролируемыми входными технологическими параметрами и выходными откликами, определяющими характеристику формоизменения и уплотнения. Исследовалось влияние физических свойств жидкостей (плотность  $P$  при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ ); величины межинструментального зазора ( $Z$ ); исходной влажности ( $W$ ) механической смеси; а также мощности ( $N$ ) ультразвуковых колебаний на процесс консолидации железного порошка при получении высокоплотных структур. В качестве регистрируемого параметра (отклика) принята плотность структуры пятой (конечной) стадии уплотнения.

На основании методов математической статистики и теории планирования эксперимента [2] поставлен и реализован полнофакторный эксперимент:  $N = 2^3$  (уплотнение на пятой стадии прессования);

Регистрируемым откликом принята  $P(Y)$  – плотность механической смеси / относительная плотность (пятая стадия уплотнения);

Планирование экспериментов проводилось в соответствии с существующими рекомендациями [2] и включало в себя определение факторного пространства, определение необходимого числа опытов по доверительной вероятности, центрирование, масштабирование, выбор плана эксперимента. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований заключалась в построении

полиномиальных моделей и их анализе. Проводилось определение числа параллельных опытов, оценка достоверности результатов измерения и выявление аномальных значений, проверка однородности дисперсий воспроизводимости параллельных наблюдений по критерию Кохрена. Регрессионный анализ включал оценку значимости коэффициентов моделей с целью исключения статистически незначимых факторов и последующий пересчет остальных коэффициентов модели. Оценивалась также статистическая значимость всего уравнения регрессии по критерию Фишера.

В соответствии с планами экспериментов  $N=2^3$  и трехкратной воспроизводимостью каждой точки статистическая обработка полученных результатов проводилась при использовании программ регрессионного и дисперсионного анализа. Получены комплексные параметрические модели в виде полиномов различного порядка, определяющая влияние мощности, зазора и влажности на плотность 5-ой стадии прессования железосодержащих порошков.

Уравнения регрессии имеют вид:

Линейная регрессии:

$$P = 8.403 - 5.556N - 12.5W - 100Z . \quad (1)$$

Степенная регрессия принимает вид:

$$P = 0.054 \cdot N^{-0.851} \cdot W^{-0.544} \cdot Z^{-0.445} \quad (2)$$

Уравнение регрессии с дополнительными переменными примет вид:

$$P = 8.695 - 7.639N - 3.056W - 5.56Z - 13.89NW - \\ - 138.89NZ - 1388.89WZ + 2777.78NWZ \quad (3)$$

При окончательной оценке возможности использования построенных моделей в технологических расчетах следует исходить из следующего:

1. Для вычисления значения отклика при заданных значениях исходных переменных в рассмотренном диапазоне значений можно рекомендовать использовать модель (3).
2. Для оценки влияния изменения значений исходных факторов на изменение отклика рекомендуется использовать модели (1) или (2), в зависимости от того абсолютное или относительное изменение интересует исследователя.
3. Для вычисления значения отклика при значениях исходных переменных, выходящих за пределы рассмотренных диапазонов значений следует использовать модель (1).

Проведенные исследования позволяют существенно расширить эффективность процесса уплотнения порошковых материалов за счет рационального выбора влажности смеси, конструкции оснастки и мощности, используемого ультразвукового оборудования.

## Литература

1. Моделирование процесса уплотнения увлажненных металлических порошков с использованием ультразвукового воздействия / В.Н. Кокорин, Н.И. Шанченко, Н.А. Сизов, О.Г. Крупенников // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. –с.37-46.
2. Рудской, А.И. Теория и практика процесса прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа / А.И. Рудской, В.Н. Кокорин., В.И. Филимонов, Е.М. Булыжев, С.Ю.Кондратьев. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 246 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 396 с.

## НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕШЁТОК РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР

Сафонов Павел Ильич,  
 студент 5 курса,  
 кафедра «Ядерные реакторы и установки»,  
 Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: В. С. Окунев,  
 кандидат технических наук, доцент кафедры «Ядерные реакторы и установки»

В качестве основного расчётного средства для проведённых исследований был выбран программный комплекс для расчёта ячеек гетерогенных решёток реакторов с расчётом выгорания и накопления продуктов деления, с получением гомогенизированных микро- и макро- малогрупповых констант WIMS (Великобритания), хорошо зарекомендовавший себя в расчётах сборок и реакторов различных конструкций.

Эквивалентного дифференциального уравнения переноса нейтронов не существует. Это связано с тем, что при столкновении с ядрами время и координаты нейтрона меняются непрерывно, а кинетическая энергия и угол, характеризующий направление полета, — скачкообразно. Поэтому уравнение переноса должно содержать интегралы по энергии и углу (направлению полета). Исходя из этого, из двух принципиальных способов получения решения интегро-дифференциального уравнения переноса нейтронов (путём сведения его к чисто интегральной или чисто дифференциальной форме) был выбран вариант его сведения к чисто интегральной форме. Уравнение Больцмана (в случае его линейности, т.е. независимости источника  $Q$  от  $\phi$  при условии, что входящие в уравнение частные производные имеют первый порядок) сводится к эквивалентному интегральному уравнению стандартным методом характеристик.

В основе математической модели программного пакета WIMS лежит интегральное уравнение переноса нейтронов (уравнение Пайерлса):

$$\phi(r, \Omega, E, t) = \int_0^{\infty} \exp \left[ - \int_0^{s'} \Sigma_{tot}(r-s'' \Omega; E) ds'' \right] q(r-s' \Omega; \Omega'; E; t-s'/v) ds'.$$

Обозначения - общепринятые.

В данных исследованиях использован  $S_N$ -метод ( $S_4$ ) решения уравнения Пайерлса.

За расчётную модель были приняты бесчехловые тепловыделяющие сборки ТВСА реактора ВВЭР-1000. Данный реактор принадлежит к наиболее распространённому в мире классу водо-водяных реакторов и рассматривается как основной вариант развития крупномасштабной ядерной энергетики в Российской Федерации.

В ходе работы были проведены:

1. Исследование зависимости коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде от шага решётки твэлов для разных видов оксидного топлива.

2. Исследование влияния используемого топлива и шага решётки твэлов на температурные эффекты и коэффициенты реактивности.
3. Расчёт изменения нуклидного состава при выгорании разных видов оксидного топлива.

На основании проведённых исследований был получен массив данных в текстовом формате. С помощью дополнительных программных средств данные были сведены в таблицы и, для наглядности и удобства анализа и интерпретации, перенесены на графики. Ввиду невозможности задания более одного значения варьируемого параметра в программный комплекс WIMS, и, как следствие, повышенной трудоёмкости проведённой работы, дискретность полученных результатов достаточно высока. Однако, точности разбиения достаточно для понимания общего характера поведения исследуемых функций.

Анализ полученных значений и их графической версии позволяет определить области оптимума значений параметров и может послужить базой для дальнейших, более детальных и углублённых исследований компоновок тепловыделяющих сборок.

Получен оптимальный шаг решетки твэлов с точки зрения максимизации коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде. Отрицательные температурные коэффициенты реактивности по топливу и теплоносителю позволяют обеспечить высокий уровень самозащищённости реактора.

Результаты работы представляют не только сугубо научный интерес, но и могут быть востребованы атомной отраслью. Ведущие научно-исследовательские организации, участвующие в разработке и сопровождении проектов реакторных установок, сегодня заняты поиском и расчётным обоснованием наилучших с точки зрения оптимальности технико-экономических показателей, с учётом соблюдения жёстких требований нормативно-правовой документации в области безопасности и надёжности, которые бы обеспечили положительную динамику относительно применяемых сегодня конструкторских, технических и технологических решений.

### Литература

1. Шмелёв В. Д., Драгунов Ю. Г., Денисов В. П., Васильченко И. Н. Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2004. — 220 с.: ил.
2. Резепов В. К., Денисов В. П., Кирилюк Н. А. и др. Реакторы ВВЭР-1000 для атомных электростанций. — М.: ИздАТ, 2002. — 333 с.: ил.
3. Дементьев Б. А. Ядерные энергетические реакторы. — М.: Энергоатомиздат, 1990.— 351 с.
4. Окунев В. С., Лисицын И. С. Нейтронно-физический расчёт решётки ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса / Под ред. Солонина В. И. / Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 145, [3] с.: ил.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ, УСИЛЕННОГО ЭЛЕМЕНТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ В ОБЛАСТИ КЛЕЕВОГО ШВА**

Владимир Витальевич Тищенко,  
*студент 3 курса,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Игнатов,  
к.т.н., доцент, кафедра «Машиностроительные технологии».*

Склеивание давно используется как способ соединения различных материалов.

Опыт применения клеев позволил выработать общий технологический процесс сборки клеевых соединений. Независимо от сочетаний склеиваемых материалов и применяемого клея выделяют пять основных этапов этого процесса:

- 1) подготовка поверхностей под склеивание;
- 2) выбор и приготовление клея;
- 3) нанесение клея;
- 4) монтаж соединения;
- 5) контроль качества склеивания.

### 1. Подготовка поверхностей под склеивание.

Подготовка поверхности под склеивание - очень важный этап формирования клеевого соединения. Основная цель этапа - достичь максимально возможной смачиваемости поверхности клеем для наилучшего контакта между клеем и поверхностью. В моей работе будут использоваться образцы из стали размером: 60-28-7мм (длина-ширина-толщина). Перед склеиванием поверхности будут механически обработаны.

Критерием механической обработки поверхности под склеивание принято считать показатель шероховатости поверхности. После шлифовки была получена рекомендуемая для инструментальных сталей шероховатость  $Rz = 30..40$  мкм

### 2. Выбор и приготовление клея.

При выборе клея нужно учитывать:

- условия эксплуатации соединения (вид нагрузки, рабочая температура, активность рабочей среды и т.д.);
- требуемые свойства соединения (теплостойкость, химическая стойкость, деформационные характеристики и др.);
- совместимость склеиваемых материалов;
- способ получения соединения (температура отверждения клея, давление при отверждении, открытая или закрытая выдержка и т.п.);
- требования к клею (цвет, вязкость, прочность, токсичность, электропроводность, пластичность, теплостойкость, усадка, запах и др.).

Для исследования была выбрана Эпоксидная смола ЭД-20, т.к она в большей степени удовлетворяет выше представленные требования.

### 3. Нанесение клея.

На этапе нанесения клея были соблюдены следующие требования:

- обеспечить сплошность и толщину клеевого слоя;

- равномерность нанесения по всей поверхности, так как от этого зависит прочность соединения;

- учитывать площадь смазываемых клеем поверхностей и толщину клеевого слоя. Для ЭД-20 оптимальная толщина клеевого слоя составляет 2мм.

#### 4. Монтаж соединения.

Качество монтажа исследовалось в зависимости от:

- количество подшипниковых шариков ( диам. 2 мм) в клею;  
- расположение шариков в определенном порядке: с интервалом 3,4,6,12 мм в горизонтальном и вертикальном направлениях

#### 5. Контроль качества склеивания.

После отверждения клея определялись следующие показатели качества клеевого соединения:

- прочность на сжатие с различным количеством подшипниковых шариков расположенных в определенном порядке в клеевой толще ( клеевом шве).

- коэффициент передачи звуковой волны через клеевое соединение.

Создание звуковой волны в образце будет осуществляться путем свободного падения подшипникового шарика диаметром 22 мм с высоты 350 мм.

### Литература

1. «Технологический процесс сборки клеевых соединений» Игнатов А.В. Издательство МГТУ им. Баумана 1993 год.

**УДК 681.51:621.91**

### **ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ**

Диана Евгеньевна Шаткова,  
*студентка 2 курса, группы 4-МИН-3,  
кафедра «Автоматизированные станочные системы и инструменты»,  
Университет машиностроения*

*Научные руководители:*

- 1). Ю.В. Максимов, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные станочные системы и инструменты», Университет машиностроения
- 2). А.А. Бекаев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные системы и инструменты», Университет машиностроения

Современные силовые гидроприводы, нашедшие широчайшее применение в различных областях техники, выполняют зачастую столь ответственные функции, что от их надежности зависит безопасность работы машин. Так, функциональная надежность гидроприводов грузоподъемных машин (пантографные и телескопические гидроподъемники, гидроподъемные столы и платформы, гидроборты др.), предназначенных для подъема и удержания полезной нагрузки (груз, люди) на требуемой высоте (рис. 1), должна иметь максимально возможное обеспечение.

Обзор существующих гидросистем подъемных устройств показал, что практически все они имеют одну и ту же принципиальную гидравлическую схему, основным недостатком которой является низкая функциональная надежность, нередко

приводящая к возникновению аварийных ситуаций, в том числе и к человеческим жертвам.



Рис.1. Эскиз грузоподъемного стола

В настоящей работе разработаны рекомендации по повышению функциональной надежности таких устройств за счет резервирования (дублирования) агрегатов и узлов гидросистем грузоподъемных машин.

## **Секция IV**

### **Метрология и взаимозаменяемость**

Председатель:

**Киселев Михаил Иванович**

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость» (МТ-4)

Ученый секретарь:

**Комшин Александр Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-4

## ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА И ГЕОМЕТРИИ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ

Антон Михайлович Левандо, Виталина Юрьевна Соболева,  
студенты 1 курса,  
кафедра «Биомедицинская техника»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Т.И. Маслова,  
ассистент кафедры РК-1.

Наиболее распространенным заболеванием хрусталика является катаракта - помутнение хрусталика глаза, препятствующее прохождению лучей света в глаз и приводящее к снижению остроты зрения. Лечение катаракты хирургическое, путем замены пораженного хрусталика на искусственную интраокулярную линзу (ИОЛ).

В статье рассмотрены основные виды ИОЛ. Монофокальные линзы, дающие в зависимости от расчета оптимальное зрение либо вдаль, либо вблизи. Интраокулярные асферические линзы специально разработаны для коррекции сферических aberrаций. Торическая интраокулярная линза исправляет исходный роговичный астигматизм. Мультифокальная линза, обладающая несколькими фокусами, позволяет **добиваться максимальной остроты зрения как вблизи, так и вдаль**. Аккомодирующие интраокулярные линзы, благодаря взаимодействию с мышцами глаза, позволяют имитировать работу естественного хрусталика глаз.

В ходе работы был изучен метод определения необходимых параметров искусственной линзы, для имплантации в глаз, строение хрусталика глаза, его геометрическая форма, а так же роль в оптической системе глаза. Хрусталик – прозрачная, двояковыпуклая биологическая линза, обеспечивающая динамичность оптики глаза благодаря механизму аккомодации. Имеет форму двояковыпуклой линзы, передняя и задняя сферичные поверхности хрусталика имеют разный радиус кривизны. Для изучения глаза, как оптической системы был рассмотрен его упрощенный эквивалент, состоящий из роговицы, влаги передней камеры, хрусталика и стекловидного тела. На основе схемы (рис. 1) были проведены расчеты оптической силы глаза, а так же его отдельных элементов.

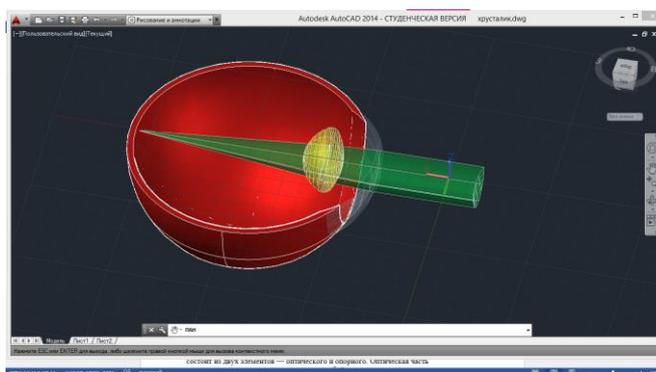


Рис.1 Оптическая система глаза.

Оптическая сила роговицы:

$$D = (n_2 - n_1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

где  $D$  – оптическая сила линзы,  $n_1, n_2$  – показатели преломления линзы и среды соответственно,  $R_1, R_2$  – радиусы кривизны линзы.

Оптическая сила хрусталика глаза:

$$D_{Lens} = D_{1L} + D_{2L} - \frac{t}{n_L} \times D_{1L} \times D_{2L}, \quad (2)$$

где  $D_{Lens}$  – оптическая сила хрусталика глаза,  $D_{1L}$  – оптическая сила передней поверхности хрусталика,  $D_{2L}$  – оптическая сила задней поверхности хрусталика,  $t$  – расстояние между поверхностями,  $n_L$  – показатель преломления хрусталика глаза.

В ходе изучения данной темы были рассмотрены основные этапы подготовки к операции по замене хрусталика глаза на монофокальную искусственную линзу. Одним из этапов является расчет оптической силы монофокальной ИОЛ, исходя из желаемого расстояния для оптимального зрения. Была разработана программа для решения этой задачи и созданы объёмные модели оптической системы глаза в редакторе AutoCAD.

### Литература

1. Р.Д Синельников Я.Р. Синельников Атлас анатомии человека. Учение о нервной системе и органах чувств. Т.4. – М.: Медицина, 1996. – 320 с.
2. Коган Б.М., Машилов К.В. Анатомия, физиология и патология сенсорных систем: Учеб. пособие / Б. М. Коган, К. В. Машилов. - М.: Аспект Пресс, 2011. - 384 с.
3. Optometry 5315, A Schematic Eye , Jason Porter
4. Офтальмологическая клиника «Эксимер». Катаракта. Искусственные хрусталики (Интраокулярные линзы). [Электронный ресурс]:<http://www.excimerclinic.ru/cataract/intraocularlens/>
5. MedUniver. Гистология. Строение глаза. Структура органа зрения - глаза. [Электронный ресурс]:<http://meduniver.com/Medical/gistologia/145.html>
6. Патентный поиск в РФ. Способ изготовления искусственного хрусталика глаза и искусственный хрусталик глаза (патент РФ № 2239391) [Электронный ресурс]:<http://www.freepatent.ru/patents/2239391>
7. Г.С. Ландсберг, "Оптика", издательство "Наука", М., 1976.
8. Е.Б. Бабский, А. А. Зубков, Г.И. Косицкий, Б.И. Ходоров, "Физиология человека", издательство "Медицина", М., 1966
9. Иванова Г.С. Основы программирования: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 416с.
10. Омура Д. AutoCAD 3D: трехмерное моделирование : пер. с англ. / Омура Д. ; пер. Орлов С. - М. : Лори, 1997.

**УДК 681.7.045**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДИ И РАЗМЕРА КЛЕЕВОГО СЛОЯ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫМ И ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫМ МЕТОДОМ**

Екатерина Викторовна Масленникова,  
студентка 6 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»

Для определения качества клеевого соединения сделана попытка выявить зависимость между емкостью и сопротивлением и качеством соединения. Для опыта были взяты две стальные пластинки, которые соединялись между собой пластилином (пластилин полностью покрывал поверхность пластин). К пластинам припаяны провода для удобства снятия показаний прибора (примем, что на всей поверхности пластин емкость одинакова). Емкость измерялась при помощи измерителя иммитанса RLC E7-22

E7-22.

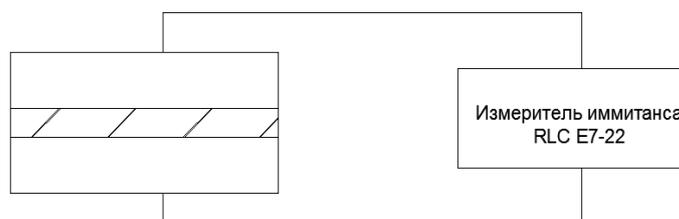


Рис.1. Схема измерения

Перед измерением емкости была измерена толщина слоя пластилина. Измерение проводилось с помощью электронного микрометра. Значение толщины равно  $h=1,87$  мм.

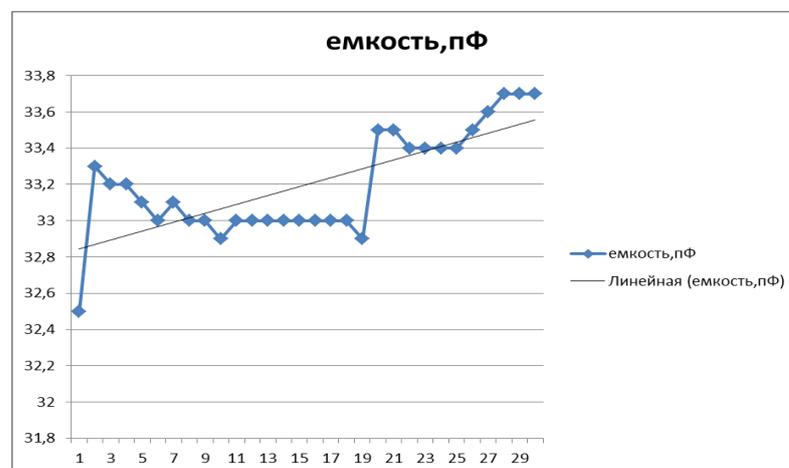


Рис.2. Измерения емкости. СКО = 0,292. Среднее значение емкости: 33,2 пФ

Возьмем расчет площади соединения из классической формулы емкости

плоского конденсатора:  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$

$$S = \frac{33,2 \cdot 10^{-12} \Phi \cdot 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{4,066 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi / \text{ м}} = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

При этом, расчетное значение площади  $S=1,71 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Относительная погрешность измерения площади контакта не превышает величину 0,6%, что на порядок точнее существующих средств неразрушающего

контроля, встраиваемых в автоматизированные линии. Такая погрешность измерения обеспечивает точность измерения дефекта клеевого шва в пределах  $\pm(5-10)\text{мм}^2$ .

Результаты могут быть использованы при контроле качества клеевого шва могут быть использован на автоматических линиях производства изделий машиностроения.

### Литература

1. *Игнатов А.В.* Формирование качества сборки клеевого соединения в машиностроении в зависимости от характеристик поверхностного слоя детали // Инженерный вестник. №11, 2012. 77-48211/511504.

УДК 621.391

### ДИСКРЕТИЗАЦИЯ И ВОСТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ТЕОРЕМЫ О ПОЛОСОВОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Александр Андреевич Мелихов,  
студент 5 курса,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: А. С. Комшин,  
Кандидат наук, доцент кафедры "Метрология и взаимозаменяемость".

Теорема о полосовой дискретизации позволяет выполнять дискретизацию полосовых сигналов со значительно сниженной частотой и при этом избегать наложения. Существует несколько методов полосовой дискретизации без наложения с недостаточной выборкой. Один из них и был рассмотрен – это так называемая дискретизация целочисленной полосы.

Если для данного полосового сигнала граничные частоты полосы ( $f_L$  и  $f_H$ ) – целые числа, кратные ширине полосы сигнала, сигнал можно оцифровать без наложения с теоретически возможной частотой  $2B$ :  $f_s(\text{min})=2B$  (1)

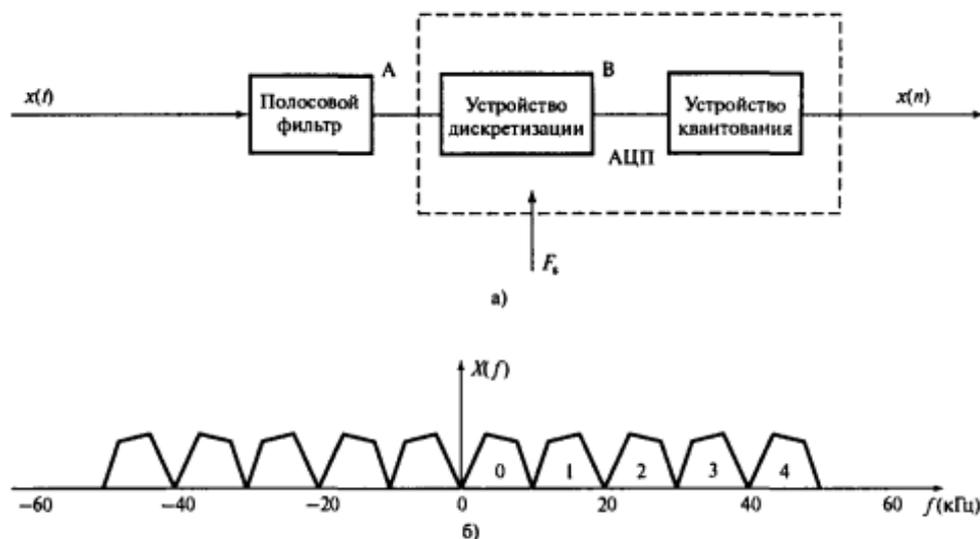


Рис. 1. а) Устройство для предварительной обработки данных системы. б) Спектр выбранного сигнала.

Уравнение (1) справедливо, если отношение низкочастотного края полосы к ширине полосы сигнала и/или высокочастотного края к ширине полосы сигнала – целые числа:

$$f_H/B=n \text{ или } f_L/B=n \text{ (n-целое число)} \quad (2)$$

Если условия уравнения (2) соблюдены, то полосу сигнала называют целочисленно расположенной. Если полоса сигнала не целочисленная, граничные частоты полосы можно сместить таким образом, чтобы эффективная полоса стала целочисленной.

Итак благодаря теореме о дискретизации полосовых сигналов, мы нашли необходимые условия для дискретизации сигнала, накладываемые на частоту дискретизации  $f_S$ .

Но данный метод не позволяет дать ответ на вопрос: как по спектру дискретного сигнала получить спектр исходного.

Создана модель и проведено моделирование как из оцифрованного сигнала, притом находящемся только в одном интервале дискретизации (интервал  $[0, f_S]$ ), получить сигнал в реальных частотах, в удобном для восприятия виде (если сигнал находился в смещенном виде, то было восстановлено положение сигнала в котором центральная частота  $f_0$  находилась в середине интервала дискретизации).

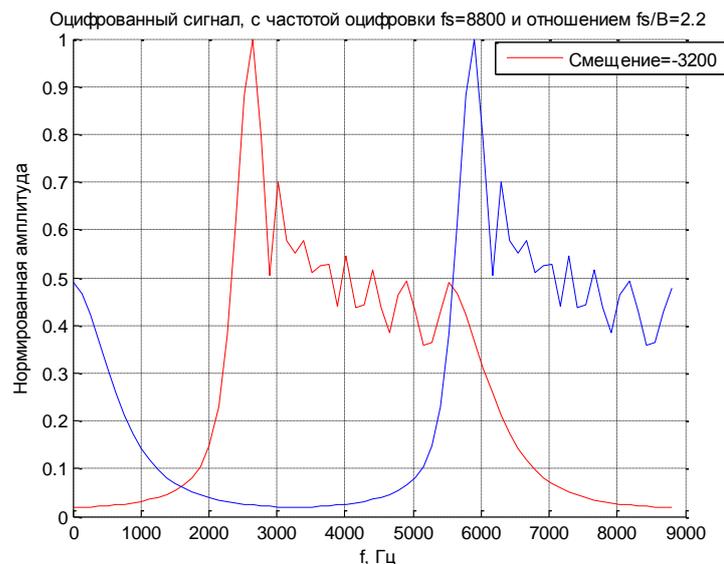


Рис. 2. Пример сигнала (ГЧМ) в удобном (красный цвет) и менее удобном (синий цвет) для восприятия виде.

## Литература

1. Айфичер Э. С., Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е издание. : Пер. с англ. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 82, 83 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ГЕНЕРАТОРА НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Яна Эдуардовна Мисюра,  
студентка 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»

Генератор сигналов - электронное устройство, мера для воспроизведения электромагнитного сигнала (синусоидального, импульсного, шумового или специальной формы). Генераторы применяются для проверки и настройки радиоэлектронных устройств, каналов связи, при поверке и калибровке средств измерений и в других целях.

Современные генераторы сигналов серии AFG3000 фирмы Tektronix относятся к категории генераторов произвольных функций. Они выполняют также роль функциональных генераторов и генераторов качающейся частоты, работающих в очень широком диапазоне частот — от нескольких мкГц до 240 МГц. Приборы выполнены на основе специализированной однокристалльной интегральной микросхемы, изготовленной по КМОП-технологии с разрешением 0,18 мкм и реализующей прямой цифровой синтез формы и частоты генерируемых колебаний.

Таблица 1. Основные характеристики генератора

<i>Характеристики</i>	<i>Параметры</i>	<i>Значение параметров</i>
<i>Выходные параметры</i>	Количество каналов	1
	Виды выходного сигнала	Синус, меандр, треугольник, пила, импульс, $\sin x/x$ , нарастающая и спадающая экспонента, функции Гаусса, Лоренца, Хевисайда, шум
	Выходной уровень на нагрузке 50 Ом	10 мВ – 10 В
	Погрешность установки частоты	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$

Для определения погрешности генератора на примере исследования сигналов сложной формы был выбран осциллограф Tektronix TDS2024C (полоса пропускания 0-200 МГц, погрешность установки Коткл.  $\pm 3\%$  ( $\pm 4\%$  при 2..5 мВ/дел), коэффициент развертки (Кразв.) 2,5нс...50с/дел, погрешность установки Кразв.  $\pm 0,005\%$ , чувствительность при синхронизации 200мВ (0...100 МГц), 350 мВ (>100 МГц).

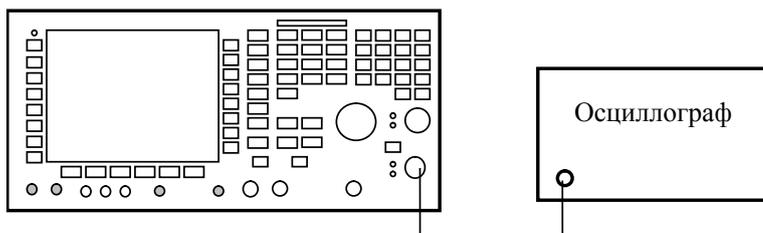


Рис. 1.: Последовательность соединения приборов.

Показания были сняты последовательно, на разных частотах. Погрешность

$$\delta V = \frac{V_0 - V_z}{V_z} * 100\%$$

частоты рассчитывается по формуле:  $\vartheta_0$ , где  $\vartheta_0$ - показания осциллографа,  $\vartheta_r$  – показания генератора.

Исследования проводились последовательно на нескольких сигналах сложной формы (функция  $\sin(x)/x$ , спадающая и нарастающая экспоненты, треугольный сигнал, функция Гаусса). Из полученных значений можно сделать вывод, что на более высоких частотах погрешность установки частоты возрастает.

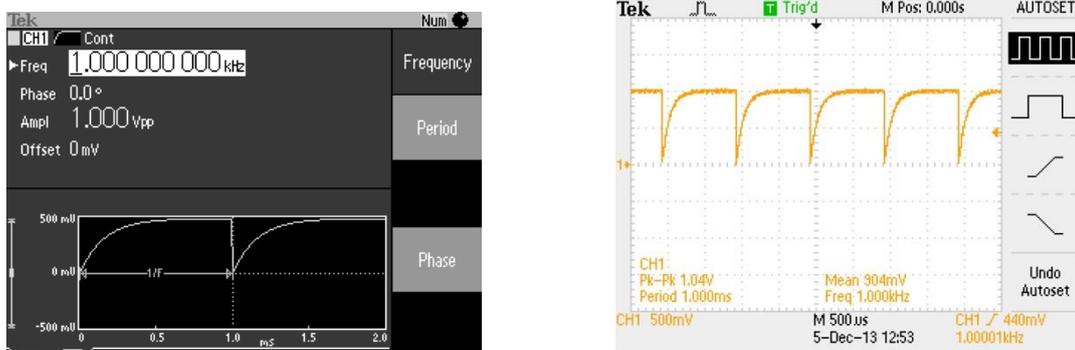


Рис.2– показания генератора и осциллографа на примере нарастающей экспоненты на частоте 1кГц

## Литература

1. Дьяконов В. «Развитие серии генераторов произвольных функций AFG3000 компании Tektronix и их применение», - ж. «Компоненты и технологии», №11, 2009г.
2. ГОСТ 8.322-78 «ГСИ. Генераторы сигналов измерительные. Методы и средства поверки в диапазоне частот 0,03 – 17,44 ГГц»
3. ГОСТ 8.395-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования»
4. ГОСТ 15094 -86 «Средства измерений электронные. Наименования и обозначения»
5. Официальный сайт фирмы-изготовителя [www.tektronix.com/signal\\_sources](http://www.tektronix.com/signal_sources)
6. МИ 3290-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа»

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ СТРУН МЕТОДАМИ СЗМ, КРС И ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

Светлана Романовна Орлова<sup>(1)</sup>, Яна Борисовна Волкова<sup>(2)</sup>  
студентка 5 курса<sup>(1)</sup>, инженер УИЦ НТ НМСТ МГТУ им. Н.Э. Баумана<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Научный руководитель: А.С. Комшин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и  
взаимозаменяемость»*

Целью данного исследования является отыскание объективных критериев, по которым можно было бы оценивать качество струн.

Наверное, каждый человек, который когда-либо играл на струнных музыкальных инструментах отмечал тот факт, что не смотря на то, что большинство струн сделаны, казалось бы, из одного материала, имеют одинаковые толщины, а порой и одного и того же производителя, изнашиваются и теряют свои эксплуатационные характеристики совершенно с разной скоростью: одни могут служить месяцами без значимой потери в качестве звучания, а другие истираются и рвутся уже спустя несколько недель. Но с чем же связана такая разница? Актуальность данного вопроса не теряет своей силы, ведь применение струн не ограничивается только лишь областью музыкальных инструментов, струны так же находят применение и в иных областях, например, существует множество различных струнных тензометров, струнных акселерометров и других струнных датчиков. Чтобы ответить на этот вопрос необходимо рассмотреть его с различных точек зрения, и первое, с чего стоит начать - исследование свойств поверхностей струн при помощи различных методов микроскопии и спектроскопии.

В качестве образцов были отобраны струны нескольких зарубежных производителей: D'addario (USA), GHS (USA), Elixir (USA), а также струны отечественного производителя «Господин музыкант». Производителями заявлен одинаковый состав струн: тонкие струны и сердечники всех струн сделаны из стали, обмотка – фосфористая бронза. На двух образцах нанесено дополнительное покрытие, состав которого производителями не раскрывается.

Исследования топологии поверхности проводились на исследовательском комплексе Ntegra Spectra, для получения топологии была выбрана полуконтактная методика АСМ. В ходе исследования были выявлены значительные различия между образцами зарубежных и отечественных производителей. Значения перепадов высот образцов всех зарубежных производителей не превышали 1 мкм, у образца отечественного производства - 2,6 мкм.

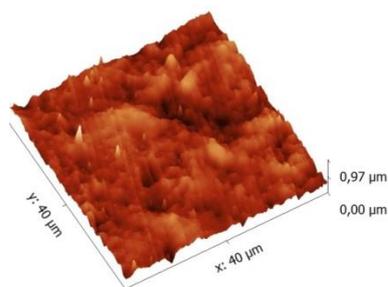


Рис. 1. Поверхность струн «Elixir» музыкант»

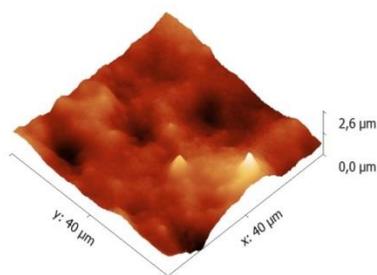


Рис. 2. Поверхность струны «Госпорин музыкант»

На рис. 1 представлена топология поверхности струны производителя Elixir (USA), на рис. 2 – ее отечественный аналог фирмы «Госпорин музыкант». Как можно видеть, значение перепадов высот отличается более, чем в 2,5 раза. Методика полуконтактной АСМ имеет свои недостатки, поэтому для исследования структуры поверхности применялся еще один метод – метод электронной микроскопии.

Исследования поверхности при помощи электронной микроскопии проводились при помощи растрового электронного микроскопа FEI Phenom.



Рис. 3. Струна «Госпорин музыкант»

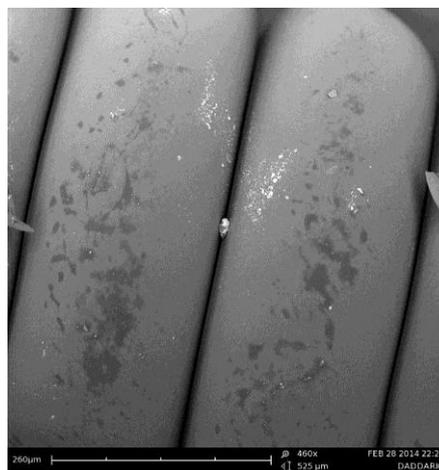


Рис. 4. Струна «D'addario EXP26»

На рис. 3 представлен отечественный образец «Госпорин музыкант», как можно заметить, он обладает значительными дефектами, по сравнению с образцом «D'addario EXP26» (рис. 4).

Исследования элементного состава поверхности струн проводились при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия) на Ntegra Spectra и оже-спектроскопии на спектрометре Specs. Результаты которой оказались неоднозначными для отдельных образцов струн, на которых нанесено покрытие. Для точного определения состава требуются дополнительные исследования.

## Литература

1. *Мионов В.К.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. - М.: Техносфера, - 2004.

УДК 004.942, УДК 621.671

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА НА ПРИМЕРЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Екатерина Владимировна Тумакова,  
*студентка 6 курса,*  
*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,*  
*Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Комшин,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В современном мире существует проблема диагностики технического состояния насосных агрегатов. Существующие методы диагностики не обладают достаточной точностью и информативностью. Для решения проблемы необходима надежная и объективная оценка и прогноз технического состояния каждого насосного агрегата с учётом его индивидуальных особенностей.

В настоящее время ведётся работа над созданием фазохронометрического метода контроля и диагностики циклических механизмов в совокупности с математическим моделированием для главного циркуляционного насосного агрегата (ГЦНА) в составе реакторной установки (РУ).

Математическое моделирование представляет собой идеальное знаковое моделирование, при котором описание объекта, явления или процесса производится на языке математики, а исследование моделей основывается на применении различных математических методов.

В данной работе создается измерительная система для измерения параметров вращения вала, т.е. в математическом моделировании рассматривается математическая модель валопровода, состоящая из системы дифференциальных уравнений, описывающих механическую систему, состоящую из двух сосредоточенных масс в виде дисков, соединённых упругим валом, что позволяет выполнить анализ крутильных колебаний.

Приращения интервалов времени – это отклонения полученных интервалов времени прохождения от одной метки (паза) на диске до другой от расчётных.

На изменение приращения, как измеряемых углов, так и интервалов времени может влиять целый ряд факторов, таких как: гидродинамический момент, номинальный момент двигателя, температура эвтектики, её плотность, кинематическая и динамическая вязкость и прочее.

Разработанная система измерения параметров вращения для главного циркуляционного насосного агрегата (ГЦНА), построенная на фазохронометрическом методе, в совокупности с многофакторной математической моделью позволяет реализовать систематическое измерительно-вычислительное сопровождение работы изделия с возможностью оценки текущего состояния его остаточного ресурса.

На Рис.1. и Рис.2. представлены диаграммы, полученные с помощью разработанного математического моделирования.

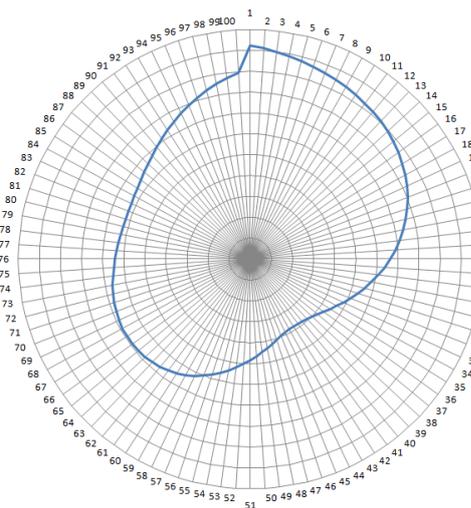


Рис.1. Приращение интервалов времени,  $M=0$  Нм;  $\max=175,7$  мкс.,  $\min=173,9$  мкс.

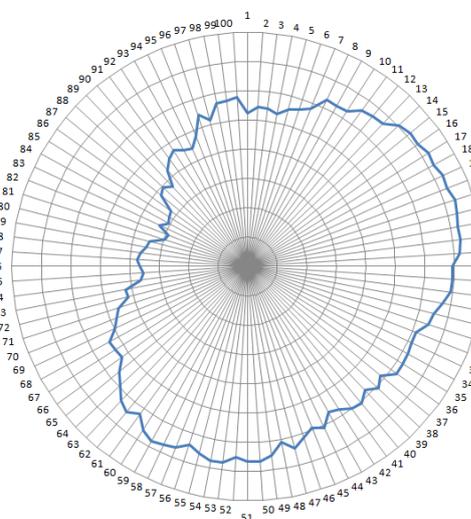


Рис.2 Приращение интервалов времени,  $M=500$  Нм;  $\max=182,1$  мкс.,  $\min=179,3$  мкс.

Результаты вычислительного эксперимента показали, что влияние изменяющихся внешних факторов отражается на функционировании насосного агрегата в вариации периодов вращения от единицы до десятков микросекунд, что может быть измерено только прецизионными средствами измерения.

### Литература

1. Душин С.Е., Красов А.В., Литвинов Ю.В. Моделирование систем и комплексов. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 177 с.
2. Сироткин М.Е. Методы моделирования производственных процессов предприятия машиностроения // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. №8. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/203858.html> (дата обращения 14.03.2014).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ СТРУКТУРЫ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ ПРИ ПОМОЩИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Ксения Александровна Булатова<sup>(1)</sup>, Антони Борисович Сырицкий<sup>(2)</sup>,  
абитуриент<sup>(1)</sup>, студент 6 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

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

Разработка и исследование новых наноструктурированных композитов в настоящее время вызывают значительный интерес в связи с широкими возможностями их использования в различных областях приборостроения, микроэлектроники, информационной техники и медицины. Один из вариантов получения нанокомпозитов состоит во введении различных материалов в пористые матрицы, такие как, например, молекулярные решетки, пористые стекла, цеолиты, опалы [1]. Опаловые матрицы обладают связанной регулярной сеткой пор между сферами из рентгеноаморфного кремнезема, образующими плотноупакованный каркас. Размер сфер имеет порядок длины волны света, что привело к использованию для таких материалов термина "фотонные кристаллы". Нанополости в опаловых матрицах бывают двух типов (октаэдрические и тетраэдрические) в зависимости от расположения ближайших кремнеземных сфер.

В настоящей работе приводятся результаты исследований топографии поверхности и правильности упаковки опаловых матриц методом атомно-силовой микроскопии.

Исследования были проведены на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Solver P47 в полуконтактном режиме с использованием зондов серии NSG30. Были получены сканы поверхности опаловой матрицы и измерены параметры топографии поверхности. Образец полученных трёхмерных изображений поверхности приведен на рисунке 1.

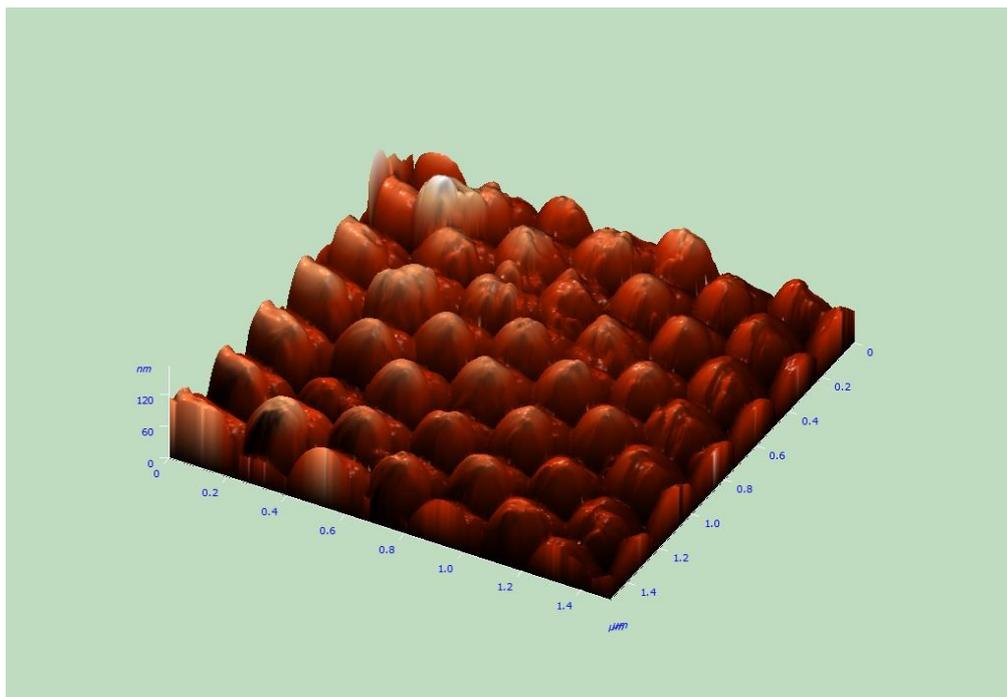


Рис. 1. Результат исследования топографии поверхности опаловой матрицы

На рисунке 1 видно, что поверхность представляет собой ряды идеальных шарообразных зёрен, плотно соединённых между собой и не имеющих каких-либо ярко выраженных дефектов. Некоторые неидеальности топографии поверхности объясняются влиянием внешних факторов на процесс сканирования образца. Так как микроскоп находится не в чистой комнате (помещение, в котором поддерживаются оптимальные условия для проведения нанотехнологических исследований), то на результат исследований влияют такие факторы как: колебания температуры в помещении, отклонение температуры от рекомендуемой, наличие мельчайших частиц пыли на поверхности исследуемого образца и прочие факторы.

Также были проведены исследования периодичности структуры опаловых матриц, результаты которых будут приведены в докладе.

### Литература

1. М.К. Lee, Е.В. Чарная, С. Тien, М.И. Самойлович, L.J. Chang, В.М. Микушев Магнитные свойства ряда нанокompозитов на основе опаловых матриц // Физика твердого тела, 2013, том 55, вып. 3 С. 572-576
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород. 2004. 114с.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

Дмитрий Александрович Поляков,  
студент 5 курса,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. С. Комишин,  
кандидат технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Целью математической обработки сигналов при фазохронометрической диагностике является выявление статистически достоверных зависимостей.

Возможные методы математической обработки: исследование сигнала напрямую и исследование автокорреляционной функции сигнала. Разложение на спектры.

Автокорреляция — статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, но взятых со сдвигом, например, для случайного процесса — со сдвигом по времени. Автокорреляционная функция показывает характерные времена для исследуемых процессов.

Преимущества и недостатки каждого из методов исследования. Преимуществом исследования автокорреляционной функции сигнала является возможность получения более достоверных данных (без случайной составляющей) с использованием системы двойной фильтрации.

Недостатком данного метода является возможность при фильтрации вместе со случайной составляющей сигнала отбросить значимые данные.

Исследование автокорреляционной функции сигнала. Последовательность обработки: запись оригинального сигнала, грубый фильтр (отбрасывание сильно выбивающихся значений), тонкий фильтр с возможностью увеличения или уменьшения полосы фильтрации.

В качестве результатов исследований получают значение выборочного среднего, выборочного СКО, строят графики автокорреляционной функции сигнала, гистограммы и спектра автокорреляционной функции. Пример полученных данных приведён на рисунке 1.

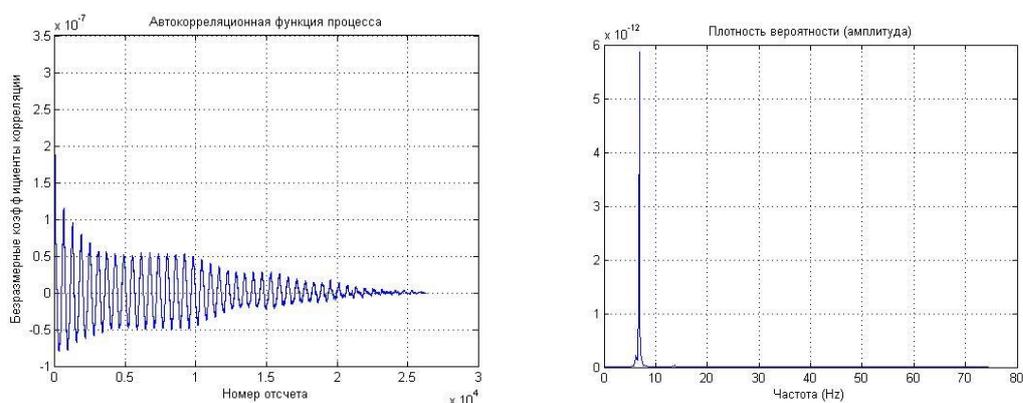


Рисунок 1 – пример полученных при обработке данных.

## Литература

1. *Комшин А. С., Потапов К. Г., Сырицкий А. Б.* Оценка технического состояния станка УТ16П фазохронометрическим методом. – «Наука и образование», <http://technomag.bmstu.ru/>, 2013.
2. *Турчин П. В.* Историческая динамика. М.: УРСС, 2007. ISBN 978-5-382-00104-3

УДК 62-783.7

### ИСПЫТАНИЯ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Антони Борисович Сырицкий,  
студент 6 курса,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

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

В среднем у металлорежущих инструментов нарушения работоспособности при выполнении различных технологических операций составляют: 10% - скалывание, 12% - отделение режущей части, 21% - поломки, 22% - выкрашивание и около 35% - износ. При этом затраты времени на обнаружение и удаление вышедших из строя металлорежущих инструментов составляют около 10% от времени работы металлорежущих систем. Путем внедрения систем диагностики инструмента возможно серьезно снизить эти затраты, при пессимистичном прогнозе до 5%, а при оптимистичном – до 1-2%.

Автоматический контроль состояния и диагностирование режущего инструмента позволяют:

1. Повысить надежность процесса металлообработки (определять правильность его протекания, автоматически восстанавливать работоспособность станка при отказах инструмента).
2. Уменьшить расход инструмента.
3. Улучшить качества обработки и сократить брак.
4. Предохранить механизмы и узлы станка от поломки и преждевременной потери точности.
5. Повысить режимы обработки.
6. Реализовать "безлюдную технологию".

В докладе описываются результаты испытаний системы на различных станках токарной группы: станке УТ16П, модернизированном станке 16К20 (оснащен системой ЧПУ) и станке Hwacheon Cutex-240 В SMC. Данные снимались на холостом ходу шпинделя станка на частотах вращения 315, 400, 1000 и 2000 об/мин.

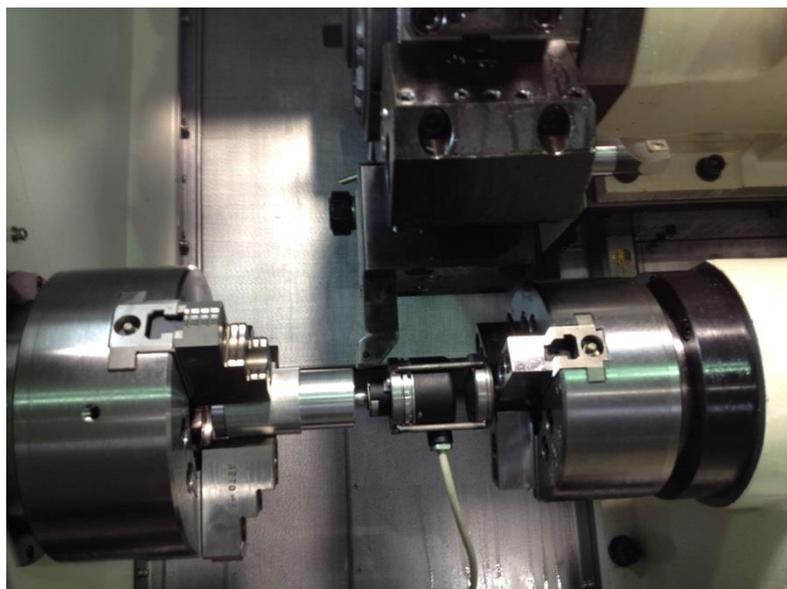


Рис.1. Установка датчика

В рабочую зону станка был установлен угловой датчик вращения, данные с которого поступают в блок обработки информации, а далее в формате временных рядов в ПЭВМ для дальнейшей математической обработки. На рисунке 1 представлен общий вид подключения датчика на станке Hwacheon Cutex-240 В SMC.

Были получены и обработаны временные ряды для каждого станка. Результаты будут представлены в докладе. На рисунке 2 представлены гистограммы рассеивания измерений интервалов времени для ~250 оборотов (170000 значений интервалов времени) станков Hwacheon Cutex-240 В SMC(верхняя) и УТ16П(нижняя). Как видно на современном корейском станке рассеивание значений в 2 раза меньше, чем на устаревшем станке советского производства. Также распределение результатов у станка Hwacheon Cutex-240 В SMC ближе к нормальному распределению. Предполагается, что данный факт напрямую указывает на лучшее техническое состояние импортной машины, по сравнению с отечественным.

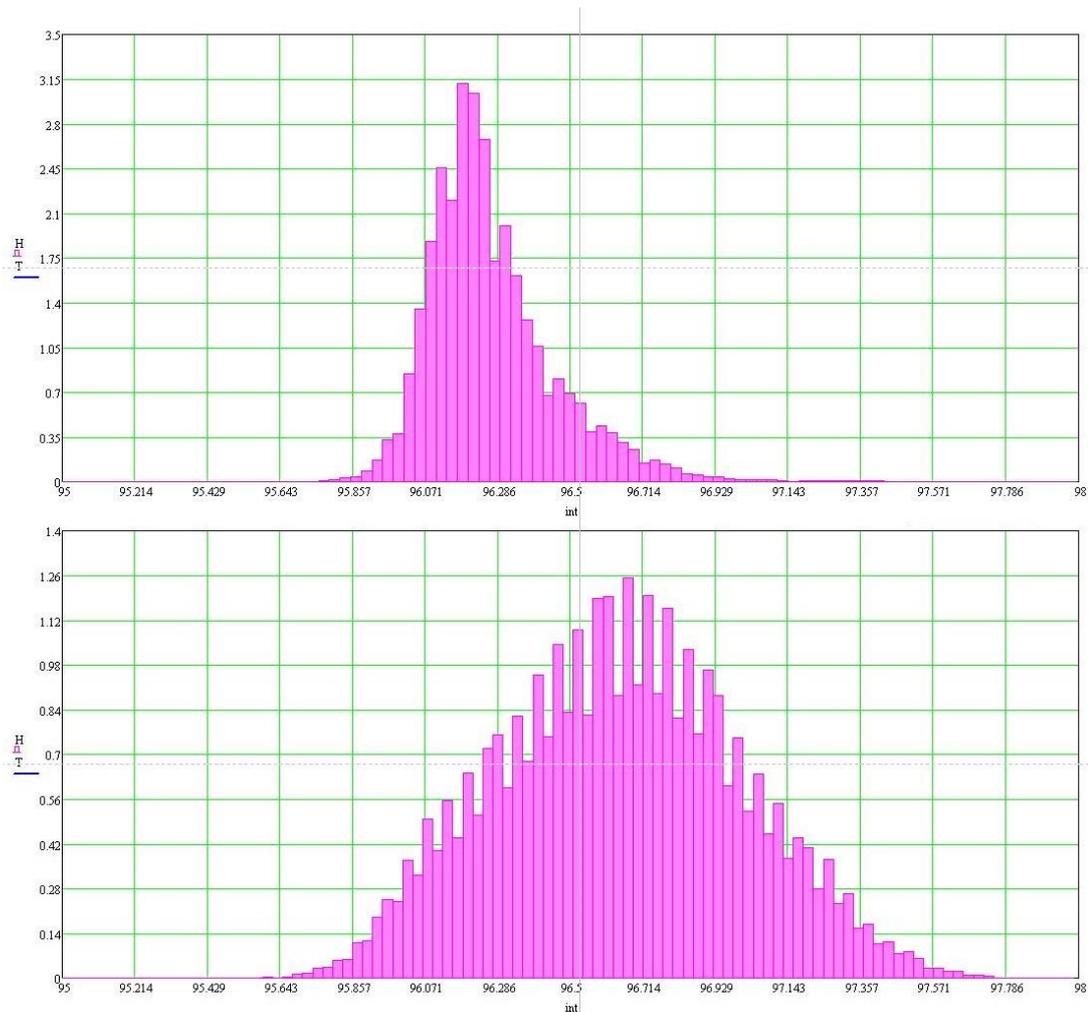


Рис.2. Гистограммы рассеивания

### Литература

1. Комшин А.С., Потапов К.Г., Сырицкий А.Б. Оценка технического состояния станка УТ16П фазохронометрическим методом // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 2. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/532755.html> (дата обращения 6.02.2013).

**Секция V**

**Литейные технологии**

Председатель:

**Семенов Вячеслав Иванович**

Кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-5

Ученый секретарь:

**Халикова Камила Касимовна**

ассистент кафедры МТ-5

## ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ЛИТЬЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Гилев Владислав Игоревич,  
*студент 6 курса*  
*кафедра «Литейные технологии»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.М. Савохина,*  
*Ассистент кафедры «Литейные технологии»*

Для этой работы я провел литературное исследование ряда современных научных исследований в области реакций между материалом формы и расплавом, при титановом литье. При литье титановых сплавов большой проблемой является образование так называемого альфирванного слоя на поверхности отливки, который очень тяжело поддается механической обработке и может приводить к образованию трещин в процессе затвердевания. Альфирванный слой – это слой титана, повышенно насыщенный кислородом и азотом. Технологам приходится учитывать величину альфирванного слоя при проектировании отливки, а затем удалять его химическим фрезерованием. В ходе исследования были рассмотрены причины возникновения альфирванного слоя и факторы влияния различных материалов форм и связующего, для различных титановых сплавов.

Обычно для решения проблем используют в качестве формовочного материала дорогие керамики, такие как :  $ZrO_2$ ,  $ZrSiO_4$ ,  $CaZrO_3$ ,  $CaO$  и  $Y_2O_3$ . Это делается, по причине того, что их изменение энергии Гиббса меньше, чем изменение  $TiO_2$ . Но, избежав термодинамического влияния на формирование альфирванного слоя, остается влияние химическое. Влияние связующего материала крайне велико как на химический состав поверхности отливки, так и на упрочнение поверхностного слоя. Наиболее классический вариант из коллоидного раствора кремния как связующего значительно уступает уксусной кислоте и водным растворам. Помимо загрязнения кислородом происходит так же загрязнение металлом из материала формы, которое до недавнего времени считалось незначительным, и поэтому игнорировалось. Однако последние исследования показали, что величина загрязнения довольно велика и игнорироваться не может.

Сильное влияние на интенсивность реакции оказывает температура формы, к примеру, для сплава  $Ti-1100(Ti-6Al-2.75Sn-4Zr-0.4Mo-0.4Si)$  и форм из  $ZrO_2$  получили величину альфирванного слоя в 38 мкм, при температуре формы в 673 К, а при температуре 293 К - 18 мкм. При этом существует зависимость от самого сплава, и следует учитывать какие сплавы более расположены к образованию альфирванного слоя. Для того же материала формы и температуры в 673 К, но для сплава Вт6Л величина альфирванного слоя составила 19 мкм. Тот же сплав, при той же температуре, но с контактном слоем из  $Y_2O_3$ , дает нам альфирванный слой в 18 мкм.

Из новых материалов стоит отдельно выделить  $CaZrO_3$ , за его живучесть, за счет связующего на водной основе, и высокую прочность получаемой формы. Более того, по термическим показателям он не уступает  $CaO$ .

Отдельно стоит выделить метод добавления порошкового титана в материал формы. Для этого в формовочные материалы ( $Al_2O_3$ ,  $ZrSiO_4$  и  $ZrO_2$ ) добавили титановый порошок в количестве 0, 10 и 50 % от массы, для создания промежуточного

TiO<sub>2</sub> в материале формы, который является составляющей частью альфированного слоя. В результате получилось уменьшить величину альфированного слоя и переходного слоя в несколько раз, чем больше добавляли титана, тем меньше становились слои. Причем, формы из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дали лучшие результаты, а из ZrO<sub>2</sub> значительно хуже.

### Литература

1. A.K.M. Nurul Amin Titanium Alloys – Towards Achieving Enhanced Properties for Diversified Applications- Хорватия : InTech, 2012. – 227 с.
2. M.G. Kim, Y.J.Kim Investigation of Interface Reaction between TiAl Alloys and Mold Materials, Metals and Materials International, Vol. 8, No. 3 (2002), pp. 289~293.
3. M.G. Kim, Y.J.Kim Effect of Mold Material and Binder on Metal-Mold Interfacial Reaction for Investment Castings of Titanium Alloys, Materials Transactions, Vol. 43, No 4(2002) pp. 745 to 750.
4. B.J. Choi, S. Lee, Y.J. Kim Alpha-Case Reduction Mechanism of Titanium Powder-Added Investment Molds for Titanium Casting, Journal of Materials Engineering and Performance, 2013.

УДК 621.74.06

### РАЗРАБОТКА НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ ДЛЯ КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Ирина Степановна Дубкова,  
студент 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.И. Вербницкий,  
преподаватель кафедры «Литейные технологии» МГТУ им.Н.Э. Баумана

В последние годы в России наблюдается большой дефицит стальных отливок для грузовых вагонов. Особенно остро стоит проблема изготовления качественного крупного вагонного литья. Осваиваемые новые технологии на основе импортного оборудования, несмотря на колоссальные затраты, не дают должного результата из-за трудностей освоения сложного оборудования и несовершенства самих технологий. Основную часть отливок в стране по-прежнему получают в формах, изготовленных на морально устаревших и физически изношенных встряхивающих формовочных машинах (ФМ) типа Hermap. На старых машинах получают формы с низкой плотностью и большим разбросом по плотности и поверхностной твердости различных участков формы. В некачественных формах невозможно получить отливки, удовлетворяющие современным требованиям качества, что ведет за собой тяжелые последствия (аварии поездов).

В МГТУ им. Н.Э.Баумана с 30-х г.г. 20 в. ведутся работы по созданию новых и совершенствованию существующих ФМ. Для изготовления форм предлагается технология мульти виброударного уплотнения смеси и альтернативное новое оборудование – ФМ с агрегатом струйной засыпки смеси, мультиударным вибростолом, автоматическим трамбовщиком и уравновешенным кантователем. При использовании вибростола к.п.д. относительно обычного встряхивания повышается в 2,5-3,0 раза, а динамические силы воздействия на фундамент в 50-100 раз меньше.

Разброс поверхностной твердости полуформ, изготовленных на предлагаемой ФМ, не превысит 5-7 ед.

ФМ имеет микропроцессорное управление и снабжена десятками датчиков для контроля рабочих процессов и диагностики механизмов. Оператор устанавливает опоку на модельную плиту, включает ФМ и контролирует ход процессов. Обдув и опрыскивание моделей и срезка напуска смеси выполняются автоматически. Предполагается, что ФМ будет работать в составе автоматизированного формовочного комплекса для крупного вагонного литья – рамы боковой и балки надрессорной различных модификаций. В состав комплекса, кроме 2-х ФМ, входят смесители для облицовочной и наполнительной смеси, стержнеукладчик, кантователь, сборщик форм, транспортная система.

**УДК 621.74.043.2**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПОДВИЖНОЙ ПЛИТЫ МАШИНЫ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Вера Сергеевна Ильющенко,  
*студентка 6 курса,*  
*Кафедра «Литейные технологии»,*  
*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Мандрик,*  
*доктор технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

В последнее время произошла революция в мире машин литья под давлением и термопластавтоматов – машины литья под давлением с двумя плитами и гидрозапиранием. Все ведущие фирмы по производству машин выпустили революционные серии с таким механизмом запирания, например, Idra Revolution, Buhler Carat, DualCast и другие. Чтобы идти в ногу со временем, было предложено спроектировать двухплитную машину литья под давлением с усилием запирания 250 тонн.

Принцип машин данного типа прост – подвижная плита приводится в движение гидроцилиндрами быстрого хода (обычно двумя), происходит смыкание пресс-формы, запирание обеспечивают четыре короткоходных гидроцилиндра, по одному на каждой колонне.

Данный тип машин имеет ряд преимуществ и недостатков. Основными преимуществами являются снижение габаритов и металлоемкости машин, что является немаловажным фактором современной экономики. Но в ходе проектирования был выявлен ряд проблемных моментов, требующих дополнительного исследования.

Таковыми проблемами являются: правильность запирания машины, распределение напряжений в ее элементах, проверка разгруженности колонн даже при нетехнологичном режиме работы. Кроме того, в процессе экспериментов были исследованы различные варианты подвижных плит с целью выявления оптимального.

Исследования проводились с помощью компьютерных экспериментов с помощью модуля APM Studio программы APM WIN Machine 9.7. Было создано несколько 3D моделей с различной геометрией подвижных плит. Модель 1 была контрольной со сплошной подвижной плитой, ожидаемая масса которой составляет 2,8 т. Модель 2 – плита подвижная полая с приливами под колонны, 2,0 т. Модель 3 – плита подвижная полая с приливами под колонны и механизм выталкивания, 2,2т.

Модель 4 – плита подвижная полая с приливами под колонны и механизм выталкивания с дополнительными ребрами жесткости, 2,2т.

При моделировании эксперимента с заданным усилием запирания 250 тонн было доказано, что существующие проблемы были исключены в процессе конструирования. При любом заданном усилии запирания перехода напряжений на колонны не наблюдается, плиты ведут себя согласно представлениям и законам физики, все перемещения и деформации заметно ниже допустимых. Кроме того, при моделировании некорректных условий работы механизма обнаружено, что открытия пресс-формы не произойдет, и машина будет работать в штатном режиме, но возможен более быстрый износ направляющих и опорных элементов машины (втулки, башмаки) в связи с повышенными напряжениями.

На основании экспериментальных данных можно сделать вывод, что наилучшим образом себя показали плиты 1 и 4. Однако, плита 4 легче плиты 1, при сохранении высокой жесткости. Поэтому рекомендуется подвижную плиту выполнять по модели 4.

Таким образом, механизм запирания спроектированной машины литья под давлением является полностью работоспособным и возможные проблемы в работе были устранены в процессе проектирования.

### Литература

1. АПМ. Научно - технический центр. Официальный сайт. URL. [www.apm.ru/rus/](http://www.apm.ru/rus/)
2. «Исследование напряженного состояния механизма запирания машины литья под давлением», курсовой проект по курсу «Основы научных исследований», Ильющенко В.С., 2013.
3. Ильющенко В.С. Двухплитная машина литья под давлением. Молодежный научно-технический вестник, 08, 2013.

**УДК 621.74.043.2**

### **ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПРЕСС-ФОРМЫ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Дмитрий Владимирович Майер,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Литейные технологии»,*  
*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана (*

*Научный руководитель: А.А. Мандрик,*  
*доктор технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Обеспечение длительной работоспособности пресс-форм является одной из важных проблем при изготовлении качественных отливок и снижении затрат при обслуживании оснастки.

К основным дефектам, приводящим к выводу пресс-формы из эксплуатации, относят: трещины и сетку разгара на формообразующих поверхностях, смятие в стыке вкладыш-вкладыш и стержень-вкладыш, изменение формы стержней, коробление, налипание и приваривание сплава на рабочие поверхности пресс-формы. При литье алюминиевых сплавов снижение стойкости пресс-форм связано в первую очередь с термической усталостью, формоизменением и износом.

Термическая усталость материалов – это явление, которое проявляется в виде сетки трещин на металлических изделиях, работающих при циклически изменяющихся температурах и напряжениях. Вначале на частично окисленной рабочей поверхности пресс-формы появляются мелкие пересекающиеся между собой трещинки, разбросанные по разным направлениям. С увеличением числа циклов теплосмен на поверхности образуются замкнутые петли, размер и рисунок которых разнообразны.

Вследствие нелинейности межатомной связи все тела при нагревании изменяют свои размеры. Параметры решетки принимают прежние значения при возвращении к исходной температуре. В реальном теле происходят физические явления, не обладающие обратимостью, что приводит к появлению остаточного формоизменения.

Формоизменение в пресс-формах проявляется в виде роста, коробления, смятия и пластического перемещение металла (вымоины, вмятины). В процессе работы острые углы деталей пресс-форм, омываемые жидким металлом, теряют свою форму.

Износ пресс-формы в широком смысле следует понимать как изменение чистоты рабочей поверхности и соответственно чистоты поверхности получаемых отливок. Износ рабочей полости пресс-форм и металлопроводов по сравнению с обычным износом явление сложное, так как трение здесь происходит при соприкосновении с жидким металлом при больших скоростях, гидродинамических ударах и при высоком конечном удельном давлении. Кроме того, действуют и другие факторы.

Химическое взаимодействие металлов вкладыша и отливок проявляется в виде коррозии и различных химических реакций с образованием окислов, нитридов и других химических соединений, приводящих к изменению состава стали вкладышей пресс-форм на ее рабочей поверхности и изменению механических свойств, а также стойкости. В результате химического взаимодействия вкладышей пресс-форм с отливкой снижается их износостойкость и чистота поверхности рабочей полости.

Физическое взаимодействие жидкого металла отливки с материалом вкладыша пресс-форм проявляется в виде диффузии, фазовых превращений, эрозии, кавитации, гидродинамического уноса, адсорбционно-поверхностных эффектов и др.

Дислокации и вакансии перемещаются в сторону высоких температур и выходят на поверхность вкладышей пресс-форм, образуя мелкие поры, что приводит к возникновению шероховатости на поверхности отливок, снижая их чистоту.

Обнаружение отдельных пор и группы микропор в поверхностных слоях пресс-формы позволяет предположить, что их образование связано с продвижением фронта диффузии алюминия в матрицу и взаимной диффузии атомов железа в затвердевший сплав. Поскольку коэффициент диффузии Al в  $\alpha$ -Fe значительно выше коэффициента диффузии атомов железа в Al, позади фронта быстро диффундирующего элемента в матрице повышается концентрация вакансий, то основным механизмом диффузии в металлах является вакансионный. Повышение концентрации вакансий приводит к появлению бивакансий, вакансионных групп и, в конечном счете, к образованию микропор.

Разрушение пресс-формы начинается с ее рабочей поверхности, так как она испытывает самые высокие температуры, деформации, напряжения и химические взаимодействия с жидким металлом. Применение смазок, химико-термической обработки (азотирование, низкотемпературное цианирование, сульфидирование и сульфоцианирование, фосфатирование), физико-химической обработки (электролитическое хромирование, электролитическое никелирование), специальных видов обработки (поверхностная лазерная закалка, поверхностная плазменная обработка без оплавления, ультразвуковая обработка), а также защитных покрытий (вольфрамовые, молибденовые, керамические) для повышения стойкости пресс-форм обеспечивает увеличение длительности их работы.

Использование смазок для пресс-форм должно быть обязательным в технологическом процессе изготовления отливок, так как оно помогает повысить качество поверхности отливок, снизить вероятность образования пористости, повысить коррозионную стойкость вкладышей и стабильность химического состава и структуры литейного сплава, повысить производительность.

Термостатирование позволяет снизить температуру контакта и скорости диффузии, что приводит к уменьшению вероятности приваривания сплава. Также термостатирование стабилизирует температурный перепад, при увеличении которого появление температурных напряжений и общей деформации возрастает.

Конфигурация литниковой системы влияет на скорость, плавность, одновременность заполнения пресс-формы. Грамотная проработка конструкции литниковой системы снизит до минимума появление бракованных отливок и увеличит длительность работы пресс-формы.

**УДК 67.02**

## **КОМПОЗИТНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ**

Эльвира Леонидовна Панева<sup>(1)</sup>, Наталья Александровна Тарасова<sup>(2)</sup>,  
студент 5 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Машины и технологии литейного производства»,  
Университет машиностроения

*Научный руководитель: В.Э. Нутрихин,  
старший преподаватель кафедры «Машины и технологии литейного производства»*

В художественном (особенно в ювелирном литье) широко применяются водные формовочные массы на гипсовом связующем и фосфатных связующих, образующие так называемые монолитные формы. Основным процессом является технология литья по выплавляемым моделям. Заливаемые в такие формы расплавы металлов контактируют только с рабочими полостями литейной формы, которые хорошо воспроизводят микрорельефы художественных изделий, все остальные компоненты, находясь в тонкодисперсном состоянии, не участвуют в контакте с металлом, а только формируют литейную форму. Послойная технология формирует литейную форму в виде оболочек на таких связующих как этилсиликат и кремнезоль. Эти формы содержат гораздо меньше пылевидной фракции, поскольку она входит в состав суспензии, который, начиная с первого слоя, обсыпают зернистым наполнителем, что обеспечивает более высокую газопроницаемость литейной формы, и таким образом ускоряет режимы термической обработки. Кроме того монолитные формы в некоторых случаях склонны к трещинообразованию во время прокаливания, особенно в переходах к стержневым элементам из-за сложных объемных превращений (расширение, усадка), оболочки при термической обработке более устойчивы к трещинам.

Важный момент - все формовочные массы для монолитных форм - иностранного производства. Разработанные ранее фосфатно-жидкостекольные композиции для оболочковых форм литья по выплавляемым моделям требуют дополнительных исследований, уточняющих временные интервалы нанесения слоев, которые оцениваются по прочности на изгиб и, главное, по качеству литья. С целью технологического удобства такие оболочки формируются прочным опорным

наполнителем в опоках на гипсопесчаных формовочных массах. Кислотно-основное взаимодействие связующих позволяет за полтора часа сформировать шесть слоев прочных оболочек без трещин, без сушки, что невозможно на этилсиликате.

Выплавление модельного состава и прокаливание форм осуществляется в электропечах по ускоренному режиму – для медных сплавов.

Технология послойного нанесения не требует вакуумирования крупных масс формовочных смесей, поскольку нанесение обмазки проводится окунанием и, при добавках пеногасителей и смачивателей получается качественная рабочая поверхность литейной формы.

#### **Выводы:**

– первым слоем композитных оболочек является жидкостекольная суспензия из-за того, что фосфатная суспензия имеет много газовых пузырей неубираемых пеногасителями

– в первый слой жидкостекольной суспензии необходимо добавлять ПАВы и пеногасители, минимальная концентрация которых составляет 0,5%

– минимальный интервал нанесения парных композиций составляет полчаса

– скоростным опорным наполнителем является гипсопесчаная формовочная масса

– в течение одного рабочего дня имеется возможность получить художественные отливки из медных сплавов (при массах форм до 5 кг.)

– качество литья приближается к стандартным этилсиликатным композициям.

#### **Литература**

1. Нутрихин В.Э. Применение фосфатных связующих для художественного литья. // Литейщик России №1 2013.-С.20–22.
2. Литье по выплавляемым моделям / под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. – М.: Машиностроение, 1984.-408с

**УДК 621.74 (075.8)**

#### **Результаты расчета питания торца с использование пакета программы Flow 3D**

Михаил Вадимович Тверской <sup>(1)</sup>, Дмитрий Эдуардович Хилков <sup>(2)</sup>,  
студент 4 курса <sup>(1)</sup>, студент 4 курса <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Ю. Коротченко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»

Целью работы являлось, выяснить величину зоны питания торца (ЗПТ), чтобы определить, где образовывается пористость в отливке. Это делается для того, чтобы узнать какого объема должна быть прибыль и в каком месте отливки её нужно установить.

В ходе работы были использованы отливки в форме плиты и бруса с максимальными размерами 300х300х300 и 1200х300х300. Для вычисления зоны питания торца использовался критерий пористости, разработанный на кафедре «Литейные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В вычислениях изменялась толщина отливок, которая существенно влияла на зону питания торца. Анализируя результаты вычислений, была установлена зависимость ЗПТ к толщине отливки. Далее толщина заменилась приведенным размером отливки и была получена новая зависимость, которая показывает, что расчет можно применять для отливок разной конфигурации.



## **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
- Ответственный секретарь: **Аленов Максим Геннадьевич,**  
ассистент кафедры МТ-6

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА АК4-1 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Константин Евгеньевич Потапенко,  
аспирант 4 года,  
кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»,  
Университет машиностроения (МАМИ)

Научный руководитель: П.А. Петров,  
кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки металлов давлением»

При расчёте процессов объёмной деформации металла благодаря применению метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в современных программах, например Qform, у технолога не возникает проблемы математического описания рассчитываемой технологической операции. Для получения максимально точного результата расчётов, который может обеспечить используемая программа, пользователю необходимо корректно задать граничные условия и данные характеризующие деформируемый материал.

Точность задания граничных условий при моделировании процессов объёмной штамповки, включающие в себя геометрию ручья штампа, закон перемещения инструментов, температуру окружающей среды, закон контактного трения и пр. зависят от возможностей программы. На возможности применяемого программного обеспечения технолог, конечно, повлиять не может, и точность описания граничных условий будет зависеть от особенностей программы и от опыта пользователя, который должен понимать, как именно, посредством предложенного инструментария, приблизить расчёт к реальному процессу деформирования [1].

Помимо описанной выше проблемы перед технологом при постановке задачи моделирования возникает проблема описания свойств деформируемого материала. Пользователь может самостоятельно определить свойства деформируемого материала. В большинстве известных программ данные по сопротивлению материала пластической деформации при горячей объёмной штамповке представляют собой таблично-заданные кривые текучести, определённые для фиксированных значений скорости деформации и фиксированных значений температур. Другим способом задания зависимости напряжения от скорости деформации и температуры являются математические модели. Так, например, в программе Qform используется модель сопротивления деформации представляющая собой функцию вида  $\sigma_i = f(\epsilon_i, \dot{\epsilon}, T)$ , где  $\sigma_i$  - напряжение текучести;  $\epsilon_i$  - накопленная деформация;  $\dot{\epsilon}$  - скорость деформации;  $T$  - температура.

Получить данные о сопротивлении пластической деформации конкретного материала можно по результатам механических испытаний (методом сжатия, кручения или растяжения) и последующего пересчёта полученных диаграмм силы по формулам, согласно какой-либо известной методике. Так, например, известна методика получения «изотермических» кривых текучести по результатам испытаний на сжатие [2], или методики получения кривых текучести по результатам испытаний методом растяжения, учитывающих объёмное напряжённое состояние в шейке [3]. В указанных подходах учёт нелинейного напряжённого состояния осуществляется по выражениям дающим, в

конечном счёте, только приблизительную корректировку значений напряжения текучести. Кроме того необходимо скорректировать значения напряжения текучести согласно изменению температуры образца в результате теплового эффекта пластической деформации, определить которое по некоторым теоретическим выражениям, не учитывающим градиента температур по сечению образца, можно также лишь приблизительно. Кривые текучести материала определённые по любым методикам представляющим собой поэтапную корректировку значений напряжения текучести по некоторым теоретическим и эмпирическим формулам могут быть пригодны для моделирования технологических операций не требующих высокой точности расчёта энергосиловых параметров процесса и точного анализа течения материала в штампе. Для расчёта процессов штамповки характеризующихся сложным течением металла в полости штампа [4] требуются уточнённые данные по сопротивлению металла пластической деформации.

В данной работе описывается способ получения данных о сопротивлении пластической деформации алюминиевых сплава АК4-1 методом постановки обратной задачи (методом инверсного моделирования) и последующим нахождением коэффициентов феноменологической модели сопротивления горячей деформации Калпина-Филиппова.

По результатам механических испытаний методом сжатия цилиндрического образца при постоянных скоростях деформации в изотермических условиях без применения смазки были получены диаграммы "ход-сила" и "время-сила". Затем полученные диаграммы преобразовывались в кривые текучести и вводились в программу Qform. При моделировании начальные условия (температура, трение и т. д.) были заданы аналогично экспериментальным. По результатам моделирования были получены графики "время-сила", которые сравнивались с экспериментальными. Если расхождение графиков превышало 5%, проводилась корректировка кривых текучести и новое моделирование. После пяти циклов были получены «изотермические» кривые текучести, обеспечивающие попадание кривых сил в допустимый интервал.

По найденным изотермическим кривым текучести были найдены коэффициенты феноменологической модели сопротивления горячей деформации [5].

### Литература

1. *Оспенникова О.Г.* Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий // *Авиационные материалы и технологии.* 2012. №S. С.19-36;
2. *Петров П.А., Дубинчин А.В.* Построение "изотермической" кривой текучести алюминиевого сплава АМг6 // *Обработка материалов давлением.* №1 (19), 2008. Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия. С.145-150;
3. *Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К.* Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением. // Учебное пособие по курсу "Теория обработки металлов давлением" для студентов специальности 15020165 "Машины и технология обработки металлов давлением". М.: МГТУ МАМИ. 2005. 113 с.
4. *Иванов В.А., Воронков В.И., Петров П.А., Крутина Е.В.* Разработка технологии изотермической штамповки детали «корпус муфты» из алюминиевого сплава АД35 // *Цветные металлы* 2011. Красноярск 2011. С.590-596;
5. *Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К.* Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением // – М.; Машиностроение, 2010. - 244 с.

## ОДИН ИЗ ПРОГРЕССИВНЫХ СТАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Валентина Михайловна Никитенко <sup>(1)</sup>, Александр Анатольевич Евстигнеев <sup>(2)</sup>,  
Булат Рашитович Зиннатов <sup>(3)</sup>,  
*студенты 3 курса,  
кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновского государственного технического университета*

*Научный руководитель: В. М. Никитенко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»*

Высокие темпы развития мирового и российского машиностроения непрерывно связаны с внедрением в производство новых прогрессивных методов обработки металлов. Одним из путей развития прогрессивной технологии машиностроения является переход на обработку металлов давлением в холодном состоянии вместо обработки резанием. Применение этого метода обработки приводит к значительному повышению производительности труда, повышению точности, улучшению механических свойств и чистоты поверхности обрабатываемых деталей и создает предпосылки для комплексной автоматизации.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) является - одним из основных методов управления прочностных свойств деталей, который обусловлен увеличением степени использования межатомной связи и широко применяется в настоящее время в сочетании с наращиванием металла различными способами для повышения предела выносливости, долговечности деталей, для увеличения сопротивления усталости деталей машин, сооружений из разнообразных металлических материалов, для восстановления поверхностей и форм, повышения шероховатости поверхностей, увеличения коррозионной стойкости, которые, зависят от материала детали и технологии ППД.

Основой благоприятного проявления поверхностного упрочнения является возникновение в поверхностных слоях обрабатываемых деталей остаточных напряжений сжатия, которые оказывают влияние на качественные показатели процесса, передаваемых от упрочняющего инструмента на деталь.

ППД является эффективным методом локального упрочнения мест концентраций напряжений, повышает твердость поверхности, в результате чего возрастает сопротивление износу, также способствует созданию микронеровностей по форме, близкой к образующейся после приработки. ППД деталей, работающих в условиях трения и изнашивания, повышает износостойкость по сравнению со шлифованием в 1,5 раза.

Моделирование процесса ППД и оптимизации технологических решений, а также минимизации влияния неблагоприятных факторов при выяснении пригодности определенной схемы обработки позволили установить важные технологические закономерности упрочнения, которые являются основой технологических расчетов:

- степень деформации сдвига поверхностного слоя;
- глубина упрочнения;
- степень деформационного упрочнения металла;

- контактные напряжения.

Почти все современные машины и двигатели включают в себя ответственные резьбовые и шлицевые детали, условия работы которых требуют обеспечения высокой точности и повышения механических свойств резьбы и шлицев. В качестве примера можно назвать силовые шпильки и анкерные связи дизель-моторов, крупные шпильки паровых, газовых и гидравлических турбин, шлицевые валы автомобилей и так далее, которые изготавливаются в больших количествах из высоколегированных термически обработанных сталей. Образование резьбы на таких деталях резанием довольно сложно, трудоемко и не обеспечивает необходимых свойств. Поэтому более эффективной является обработка резьбы и шлицев по методу холодной пластической деформации – накатыванием.

Экспериментальные исследования в целях выявления неучтенных особенностей влияния параметров состояния поверхностного слоя деталей на их долговечность (шероховатость, степень и глубина упрочнения, остаточные напряжения, степень истощения ресурса пластичности металла и др.) проводились на металлообрабатывающих станках с ЧПУ. Для накатывания применяли стандартные ролики различной конструкции и профиля, изготавливаемые из сталей ШХ15, Р18, твердостью 60...62 HRC, устанавливаемые в резцедержателях. Для предварительной обработки использовали точение. Твердость детали составляла HRC 45. Накатные приспособления снабжены упругим элементом для поддержания постоянства силы накатывания.

Исследования позволили установить зависимости, связывающие параметры состояния поверхностного слоя с режимами ППД и прочностной характеристикой детали.

Также в массовом производстве на ОАО «УАЗ» для повышения производительности труда используют многоинструментальные приспособления, широко используют многороликовые инструменты, в которых ролики устанавливают в сепараторе.

Таким образом, исследования показали, что формообразование деталей пластическим деформированием из стали в холодном состоянии является одним из наиболее прогрессивных методов воздействия на состояние поверхности, приводящих к повышению циклической прочности в области многоциклового усталости и при больших перегрузках для обеспечения качества поверхностей технических изделий. Поэтому, совершенствование известных и разработка новых, научно обоснованных технологических процессов обработки рабочих поверхностей деталей для повышения их эксплуатационных характеристик для машиностроения на сегодня являются актуальными.

## Литература

1. *Терентьев В.Ф.* Циклическая прочность металлических материалов, 2001, 106 с.
2. *Кудрявцев П.И.* Не распространяющиеся усталостные трещины, 1982, 176 с.
3. Кудрявцев И. В., Поверхностный наклеп для повышения прочности и долговечности деталей машин, 2 изд. М., 1969;
1. 4.Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Структура и механические свойства металлов, М., 1970 Г.
4. Васильева А.Г. Деформационное упрочнение закаленных конструкционных сталей.- М.: Машиностроение, 1981.

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНО - ТЕХНИЧЕСКИХ  
МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ОАО «УАЗ»)**

Валентина Михайловна Никитенко <sup>(1)</sup>, Дмитрий Константинович Журтубаев , <sup>(2)</sup>  
Рамиль Госманович Гиматов <sup>(3)</sup>,  
*студенты 3 курса,  
кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновского государственного технического университета*

*Научный руководитель: В. М. Никитенко,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»*

Сложившаяся экономическая ситуация на ведущих предприятиях нашего региона заставляет организации более интенсивно искать пути снижения расхода металла, повышения качества выпускаемой продукции, усовершенствовать конструкции некоторых деталей, штамповых инструментов и узлов машин.

Как показал обзор научно-технической литературы совмещение операций вытяжки и отбортовки используется в настоящее время только при производстве осесимметричных деталей. Однако, 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.

Анализ действующих технологий штамповки промышленных предприятий, в частности ОАО «УАЗ» различных деталей из листового проката 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 годового расхода материала.

Таким образом, развитие теории вытяжки, отбортовки и их совмещения при изготовлении коробчатых деталей с отверстием в донной части из листового материала приобретает на сегодня особую актуальность.

Изготовление коробчатых деталей совмещенным способом выпяжки и отбортовки позволит уменьшить число переходов штамповки, снизить расход металла, повысить производительность труда и обеспечить качество штампованных изделий.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, направленные на снижение брака, позволили разработать схемы последовательной штамповки одновременно двух деталей в штампе последовательно-совмещенного действия, что позволяет рационально использовать металл и не приводит к погрешностям формы заготовки и расположения поверхностей изделия.

Предлагаемый способ является эффективным, поскольку он не требует больших затрат времени и средств на разработку и отладку технологического процесса по сравнению с действующими, что позволяет дать научно-обоснованную оценку реальных возможностей по экономии металла и оптимизации процесса в целом.

## О НОВЫХ СПОСОБАХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОбЧАТОЙ ФОРМЫ С ОТВЕРСТИЕМ В ДОННОЙ ЧАСТИ.

Валентина Михайловна Никитенко <sup>(1)</sup>, Ксения Александровна Крещенова <sup>(2)</sup>,  
студентки 2 курса,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: В. М. Никитенко,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Одним из направлений снижения расхода металла при изготовлении коробчатых невысоких деталей типа квадратных с отверстием в донной части листовой штамповкой является совмещение формообразующих операций.

Совмещение операций вытяжки и отбортовки при изготовлении рассматриваемых изделий позволяет уменьшить число переходов штамповки и значительно снизить расход металла и повысить производительность труда.

Деформированию подвергают плоскую заготовку с предварительно пробитым отверстием, размеры которого меньше размеров отверстия в дне готовой детали. Формообразование детали при этом происходит не только за счет течения металла с периферийной части заготовки, но и интенсивной деформации металла заготовки вблизи контура отверстия.

Для оценки возможностей процесса неполной отбортовки проведены экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях на базе ОАО «УАЗ» на сталях 08кп, 08Ю и 08пс.

В результате исследований:

- получены уравнения регрессии, связывающие основные технологические параметры формоизменения с геометрическими параметрами исходной заготовки и штампового инструмента;

- установлено, что предельная относительная степень деформации зависит, в основном, от толщины материала ( $S_0$ ). С ее увеличением и уменьшением размеров детали коэффициент отбортовки ( $K_{отб.}$ ) уменьшается; - для исследуемых сталей коэффициент отбортовки меньше, чем это представлено в справочных материалах;

- определены значения коэффициентов отбортовки для случаев, когда  $d_0 > 100S_0$  где  $d_0$  - диаметр отверстия заготовки;  $S_0$  - толщина листового материала).

Таким образом, на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан ряд новых способов штамповки коробчатых деталей.

Для интенсификации процесса неполной отбортовки применяли промежуточную операцию - вырезку наиболее упрочненного материала заготовки вблизи отверстия. Это позволило уменьшить диаметр первоначально пробиваемого отверстия и соответственно диаметр исходной заготовки.

Расход годового металлопроката сократился на 5...18%.

## Литература

1. *Никитенко, В. М.* Интенсивное формообразование при вытяжке деталей коробчатой формы [Текст] / В. М. Никитенко, Ю.А. Курганова, В.Н. Кокорин // Вестник Саратовского государственного технического университета . - 2008.- №3 (31).Выпуск 3.- С.37-39.

УДК 621.981

### ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ОПАЛУБКИ

Ольга Владимировна Мищенко <sup>(1)</sup>, Ксения Александровна Крещенова , <sup>(2)</sup>  
Антон Дмитриевич Сергеев <sup>(3)</sup>,  
*студенты 1,2 курсов,  
кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновского государственного технического университета*

*Научный руководитель: О.В. Мищенко,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»*

Сегодня гнутые профили применяются практически во всех отраслях народного хозяйства РФ. Их широкое распространение обусловлено большим количеством типоразмеров, сравнительной низкой металлоемкостью изделия, возможностью изготовления гнутых профилей сложного поперечного сечения, отвечающих конструктивным, функциональным и эстетическим требованиям, предъявляемым к ним.

Особый интерес вызывают профили, применяемые в строительстве: коньки крыш, противоветренные уголки, воронки, подоконники, дождевые стоки, а также соединительные элементы, детали герметизации, снегозащиты и т.п. [1].

В частности, с ростом строительных технологий значительно увеличилась доля монолитных и кирпично-монолитных конструкций. Для их сооружения применяется сборно-разборная крупно-щитовая модульная опалубка.

Главным элементом, основой конструкции опалубки является специальный гнутый профиль замкнутого коробчатого сечения (рис. 1). Этот профиль воспринимает давление бетона, определяет точность размеров и плоскостность щитов конструкции.

Одним из способов обеспечения технологичности процесса изготовления профиля, достижения наибольшего коэффициента использования металла и в целом существенного снижения стоимости конструкции является рациональный выбор исходной заготовки на этапе проектирования.



Рис.1. Профиль опалубка замкнутого коробчатого сечения

Авторами был проведен анализ технологии изготовления опалубки 60×123×3 мм (рис. 2) ОАО "Ульяновский НИАТ" с применением трубы и листового металла в качестве исходного материала.

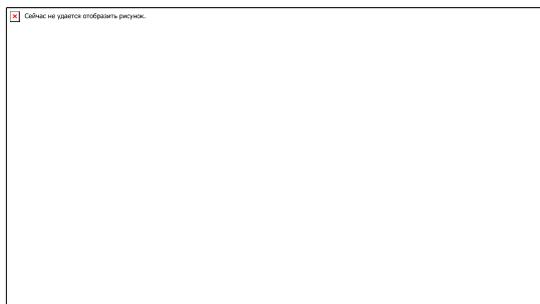


Рис. 2. Профиль опалубка 60×123×3 мм ОАО "Ульяновский НИАТ"

Применение каждого вида заготовки имеет свои особенности. Так, при использовании листа остается некая доля отхода металла, в то время как при использовании трубы отход незначителен.

В то же время, автоматизированная линия в первом случае включает 7 единиц оборудования: рулонница, гибочно-прокатный станок (12 клетей), сварочно-обжимной агрегат, охладитель, калибрующая машина, пила автоматическая отрезная, стол приемный. Применение трубы в качестве исходной заготовки позволяет отказаться от операций сварки и охлаждения, линия состоит из подающего рольганга, гибочно-прокатного станка (20 клетей), автоматической отрезной пилы, приемного стола со сбрасывателем. Это значительно упрощает технологический процесс, позволяет снизить энергопотребление, но увеличивает число переходов профилирования.

Важным моментом является отличие в стоимости и самих заготовок.

На рис. 4 приведены итоговые данные расчета экономического эффекта (полный расчет представлен на 10 стр. – здесь не приводится) от использования двух различных технологий. Зависимости показывают, что при годовой программе больше 564,25 т. целесообразно использовать технологию производства профиля из листа, при меньших объемах – из трубы.

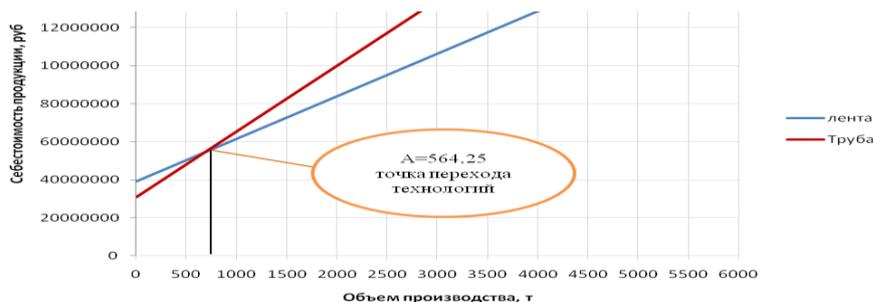


Рис. 4. Зависимость себестоимости изготовлении профиля от объемов производства

Проведенный анализ может иметь ряд приложений:

1. Выявление особенности формирования стоимости опалубочной системы и профилей подобных схем формообразования;
2. Использование для оптимизации затрат на этапе подготовки контрактов.

## Литература

1. Филимонов, С.В. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов – Ульяновск: Изд-во УлГТУ Венец, 2004. – 246 с.

УДК 621.7.043

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОДНОПЕРЕХОДНОЙ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «КОРПУС СМЕСИТЕЛЯ»

Анна Сергеевна Сомкина,  
*студентка 6 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»*

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.

При штамповке латуни необходимо учитывать некоторые особенности. Во-первых, температурный интервал штамповки небольшой от 730 до 750°C, оптимальная температура штамповки 720-730°C. Поэтому штамповать латунь нужно быстро, желательно за один удар. Во-вторых, обрезка заусенца производится при температурековки, т. е. 720-730°C или после охлаждения поковки до комнатной температуры.

Производство корпусов смесителей 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.

Образование различных дефектов, возникающих в процессе штамповки, определение необходимых скоростей движения прошивочных пуансонов и основного оборудования можно прогнозировать, используя методы математического моделирования процессов обработки металлов давлением.

При моделировании технологического процесса штамповки детали были выявлены возможные дефекты и неточности заполнения гравюры штампа. Путем многократного моделирования была определена геометрия формообразующего инструмента, позволяющая избежать образования дефектов. Также в процессе моделирования была определена зависимость движения прошивочных пуансонов от

движения основного оборудования и подобраны скорости перемещения пуансонов. По итогам математического моделирования был разработан технологический процесс бездефектной штамповки детали типа «Корпус смесителя».

### Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./под ред. Е. И. Семенова. Т. 2. Горячая штамповка. – М.: Машиностроение, 1986. 592с., ил.
2. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю. А. Бочаров. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480с.

УДК 624.983

### ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО ШВА ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ И ТРУБ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Иван Сергеевич Князькин,  
студент 5 курса,  
Кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,

При прессовании полых профилей или труб происходит образование сварного шва в полости сварочной камеры. На основе гипотез образования связей при совместном пластическом деформировании[2] можно сделать некоторые выводы, которые могут быть использованы в программном комплексе, для предсказания качества сваривания:

- В зоне контакта чистых металлических поверхностей необходимо приложить давление определенной величины, которое обеспечило бы сближение этих поверхностей на расстояние, равное или близкое межатомному;
- Схватывание возникает в отдельных точках контактной поверхности, а затем распространяется практически по всей площади контакта;
- Способность различных металлов к схватыванию зависит от их напряженно-деформированного состояния и физико-химических свойств – соединение более вязких металлов и сплавов происходит легче (при меньших давлениях и степенях деформации).

В данной работе рассмотрен критерий сваривания Плата-Пивника[1](а также некоторые поправки и добавления к нему):

$$\int_t \frac{P}{\sigma} dt = const$$

где P – контактное давление в зоне контакта,  
 $\sigma$  – интенсивность напряжений,  
t – время сваривания.

Выдвинуты идеи и тестовые исследования для прогнозирования качества шва по выше представленному критерию с помощью программных комплексов QForm 7 и QForm-Extrusion.

### Литература

1. Numerical Modeling of Extrusion Welding in Magnesium Alloys, *Yan Xu, Wojciech Z. Misiolek*; Institute for Metal Forming, Lehigh University, 5 East Packer Avenue, Bethlehem, PA, USA; yax208@lehigh.edu, bwzm2@lehigh.edu , 2011.
2. Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов. *Гильдегорн М.С., Керов В.Г., Кривонос Г.А.* М., «Металлургия», 1975, 240 с.

## **Секция VII**

### **Технологии сварки и диагностики**

Председатель:

**Коновалов Алексей Викторович**

доктор технических наук, профессор, заместитель  
заведующего кафедрой «Технологии сварки и  
диагностики» (МТ-7)

Ученый секретарь:

**Якушин Борис Федорович**

доктор технических наук, профессор кафедры МТ-  
7

## ОСОБЕННОСТИ ДУГОВОЙ СВАРКИ КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Мария Владленовна Борзых,  
*студентка 6 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»*

Ввиду того, что к корпусным изделиям летательных аппаратов предъявляются жесткие требования по массе, основными конструкционными материалами в авиации и космонавтике являются высокопрочные сплавы на основе алюминия.

Дуговая сварка алюминиевых сплавов имеет целый ряд специфических особенностей, связанных с высокой химической активностью алюминия, наличием на его поверхности тугоплавкой окисной пленки, высокой теплопроводностью и жидкотекучестью. Кроме того, ввиду крайне малой растворимости водорода в твердом алюминии, сварные швы подвержены образованию пор при кристаллизации. Наконец, алюминиевые сплавы, как правило, проявляют склонность к образованию горячих трещин при сварке. Поэтому для обеспечения качества сварных соединений алюминиевых сплавов требуется неукоснительное соблюдение жестких требований технологической дисциплины и использование специальных приемов.

Прежде всего, требуется тщательная подготовка поверхностей свариваемых деталей и присадочных материалов, направленная на удаление окисной пленки, загрязнений и влаги из зоны сварки. Для этого применяют зачистку, шабрение, травление, обезжиривание и обезвоживание, а так же лимитируют время пригодности подготовленных поверхностей под сварку.

Для борьбы с оксидной пленкой в процессе сварки используют аргонодуговую сварку на переменном токе, что позволяет использовать эффект катодного распыления. Высокая теплопроводность алюминиевых сплавов требует применения мощных концентрированных сварочных источников теплоты, иначе трудно гарантировать полное проплавление. В этой связи применяют сварку трехфазной дугой с подачей присадочной проволоки. Увеличение размеров сварочной ванны при этом благоприятно сказывается на ее дегазации, но обостряет проблему образования прожогов, для предупреждения которых обычно используют стальные формирующие подкладки.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА САМОЗАЩИТНОЙ ПРОВОЛОКОЙ СТЫКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Алексей Владимирович Внуков,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.М. Ховов,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В данной статье проведен анализ возможности использования технологии сварки стыков магистральных трубопроводов автоматической сваркой самозащитной проволокой. По результатам серии экспериментов предложена возможность внедрения способа сварки при строительстве магистральных трубопроводов.

На сегодняшний день при строительстве магистральных трубопроводов в основном используются технологии сварки с применением защитных газов. Необходимость применения защитных газов при сварке создает определенные трудности - сварка осуществляется в специальных защитных палатках, баллоны с защитным газом нужно доставлять к месту производства работ на регулярной бесперебойной основе.

Отказаться от защитного газа возможно, перейдя на технологию сварки самозащитной проволокой. При сварке самозащитной порошковой проволокой защита сварочной ванны и застывающего металла шва происходит за счет газа и шлака, образующегося при плавлении наполнителя, содержащегося в сердечнике проволоки, что дает возможность выполнять сварку без использования инвентарных палаток даже в ветреную погоду. При том, что сварка самозащитной порошковой проволокой является одним из наиболее производительных способов сварки, ее недостатком является достаточно большая потеря времени на вспомогательных операциях, таких как перемена положения сварщиком и зачистка абразивным кругом потолочной части сварного шва.

Была проведена серия механических испытаний на образцах, вырезанных из стыков, сваренных автоматической сваркой самозащитной проволокой. Результаты проанализированы.

### Литература

1. Преимущества автоматической сварки самозащитной порошковой проволокой / Н.Г. Блехерова [и др.] // Территория нефтегазу- 2013.- №5.- С. 94-94.

## ВЫБОР МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОКОПОДВОДА К ИЗДЕЛИЮ ПРИ СВАРКЕ В ГЛУБОКУЮ РАЗДЕЛКУ

Маргарита Сергеевна Воропаева,  
*студент 6 курса*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Коновалов,*  
*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

При сварке крупногабаритных толстостенных изделий целесообразно использовать узкую (щелевую) разделку стыка, что позволяет значительно сократить трудоемкость и ресурсоемкость процесса сварки за счет значительного уменьшения объема наплавленного металла. К сожалению, данное решение пока не нашло широкого применения в промышленности из-за сложности обеспечения надежного сплавления металла шва с кромками разделки, связанной с особенностями поведения сварочной дуги в стесненных условиях узкой щелевой разделки.

Распределение линий тока в металле в значительной степени влияет на отклонение дуги в разделке при сварке, от чего напрямую зависит форма создаваемого валика шва. Поэтому важно уменьшить отрицательное влияние линий тока на дугу, что может быть достигнуто грамотным расположением токоподвода при сварке.

Проанализировав распределение линий тока при сварке в щелевую разделку и влияние их распределения на форму валика, выяснили, что для того, чтобы исключить отклонения дуги к стенкам разделки, необходимо располагать токоподводы с двух сторон от разделки и строго симметрично относительно нее. Расположение токоподводов вдоль шва по отношению к месту горения дуги так же может негативно сказаться на форме валика, в частности, на его высоте. Мы стремимся получить относительно плоскую форму валика, для чего следует избегать расположения токоподвода впереди, поскольку это способствует формированию более выпуклого валика. Расположение же чуть позади места сварки, наоборот способствует получению необходимой формы валика.

В результате проведенных исследований применительно к кольцевым швам толстостенного корпуса реактора выбрано рациональное расположение скользящих токоподводящих элементов: симметрично с двух сторон от шва немного позади непосредственного места сварки. Данное расположение позволяет избежать негативного влияния распределения линий тока в деталях, и даже создать благоприятные условия для предотвращения характерных дефектов при сварке в узкую щелевую разделку.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

## **ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОДМАГНИЧИВАНИЯ НА НАПРАВЛЕНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИИ ПРИ ЭМА-ВОЗБУЖДЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН**

Анатолий Андреевич Галенко,  
*студент 2 курса*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Дерябин,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В настоящее время для возбуждения ультразвуковых колебаний широкое применение находят электромагнитно-акустические преобразователи, работающие на эффекте магнитострикции.

Известно, что применение способа магнитострикции для возбуждения УЗК позволяет избежать влияния состояния поверхности на модель возбуждения, так как возбуждение УЗК осуществляется внутри материала.

Применение способа магнитострикции для возбуждения УЗК позволяет управлять поляризацией волн, что невозможно сделать силой Лоренца.

Важным при проектировании преобразователей, использующих магнитострикцию, является расчет величины и направления суммарного магнитного поля, а также управление направлением магнитного поля, а значит направлением магнитострикции.

При отсутствии вертикального подмагничивания углы вектора суммарного магнитного поля могут иметь значения в пределах  $-90...90$  градусов, а при формировании луча в нужном направлении необходимо, чтобы частицы колебались в одном, а суммарное поле было направлено под необходимым углом.

Основываясь на работах [1-3], была составлена расчетная модель, позволяющая определить величину вертикального подмагничивания, позволяющего направить колебания частиц за счет эффекта магнитострикции в диапазоне углов  $\pm 1$  град, что позволяет управлять направлением колебаний диаграммы направленности с точностью  $\pm 1$  град.

### **Литература**

1. Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3 т. / Под ред. Г.С. Ландсберга: Т.2. Электричество и магнетизм. – 13-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 480 с.
2. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 496 с.
3. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. - М.: Наука, 1982. – 335 с.

## **ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ЕГО СЛУЖЕБНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Василиса Федоровна Гришанова, Альберт Айратович Латыпов,  
*студенты 4 курса,*  
*кафедра «Технология нефтяного аппаратостроения»,*  
*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Научный руководитель: А.М. Файрушин,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология нефтяного*  
*аппаратостроения»*

Основная задача современного машиностроительного комплекса и нефтегазового машиностроения: повышение работоспособности оборудования при одновременной экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Сварка - технологический процесс получения неразъёмного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их нагреве (местном или общем), и/или пластическом деформировании.

С помощью сварки изготавливается и производится монтаж большей части всех конструкций, применяемых в нефтегазовой отрасли. Однако, сварное соединение, как правило, является концентратором напряжений, местом расположения различных дефектов и нежелательных структурных изменений. Основным методом по улучшению качества сварных соединений является применение различных типов операций термической обработки.

Существует также ряд других способов повышения качества сварных соединений. Одним из таких способов является виброобработка в процессе сварки, которая позволяет повысить механические и коррозионные свойства сварных соединений ещё в процессе сварки изделия, что может в ряде случаев может снижать трудоемкость, сокращать затраты и повышать механические свойства сварных соединений.

Рассмотрев более подробно данную тему, мы пришли к выводу, что при сопутствующей вибрационной обработке соединений в процессе сварки вибрационное воздействие воспринимает не только затвердевший металл сварного соединения, но и расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны. Это не только позволяет получить более широкий спектр положительных эффектов от обработки, но и даёт возможность применения локального ввода упругих колебаний непосредственно в зону сварки, что значительно снижает требуемую мощность вибрационных устройств и повышает универсальность метода.

Экспериментально нами установлено, что вибрационная обработка, проведенная в процессе дуговой сварки, на частоте 50 Гц позволяет почти в 3 раза снизить размеры микропор в металле сварного шва, а также снизить размеры зерен и повысить однородность структуры.

К отрицательным факторам, появляющимся при чрезмерном превышении энергии упругих колебаний (амплитуда вибрации выше 1 мм), можно отнести появление трещин, выплесков, кристаллизацию с появлением различного рода поверхностных дефектов, пористости.

## Литература

1. Бакши О.А., Зайнуллин Р.С. О снятии сварочных напряжений в сварных соединениях с механической неоднородностью приложением внешней нагрузки // Сварочное производство. – 1973. - № 7. - С. 10-11.
2. Гаврилин И.В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов.- Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000. – 260 с.
3. Голиков И.Н., Маслеников С.Б. Дендритная ликвация в стали и сплавах. М.: Металлургия, 1977. - 218 с.
4. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов - М.: Металлургия, 1995. - 272 с.
5. Зарипов М.З. Модернизация технологии изготовления сварных аппаратов из стали 12Х18Н10Т с применением вибрационной обработки: Дис. ... канд.техн.наук. – Уфа, 2010. – 132 с.
6. Кубенко В. Д., Кузьма В. М., Лунка Г. Н. Динамика сферических тел в жидкости при вибрации. - Киев: Наукова думка, 1989. - 152 с.
7. Марков А. И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. - 500 с.
8. Рагульские К.М., Стульпинас Б.Б., Толутис К.Н. Вибрационное старение. – Л.: Машиностроение, 1987. – 72 с.
9. Сагалевиц В. М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений, М.: Машиностроение, 1974. - 248 с.
10. Файрушин А.М. Совершенствование технологического процесса изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки: Дис. ... канд.техн.наук. – Уфа, 2003. – 121 с.

УДК 621.791

### РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДОГРЕВА ПРИСАДКИ ДЛЯ ВВОДА В ХВОСТОВУЮ ЧАСТЬ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Екатерина Алексеевна Гришина,  
*студент 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»*

Современные трубные стали весьма чувствительны к перегреву при сварке. Негативное влияние перегрева проявляется в том, что при длительной выдержке металла при температурах выше 1000°С растворяются карбиды и нитриды, сдерживающие миграцию границ зерен аустенита, происходит интенсивный рост зерна и охрупчивание металла сварного соединения. Поэтому для сохранения высоких показателей ударной вязкости необходимо предусматривать специальные мероприятия, направленные на уменьшение времени пребывания металла околошовной зоны сварного соединения в интервале температур интенсивного роста зерна и гомогенизации аустенита [1].

Одним из эффективных способов снижения степени перегрева околошовной зоны при сварке является снижение средней температуры сварочной ванны путем

ввода в ее хвостовую часть электродной проволоки без горения дуги. Такой способ сварки с дополнительной холодной или горячей присадкой был разработан на кафедре сварки МГТУ им. Н.Э.Баумана более 40 лет назад. Для реализации этого способа, помимо использования специального источника питания и сварочного мундштука, необходимо определить температуру подогрева присадочной проволоки, гарантирующую ее полное расплавление в сварочной ванне в условиях многодуговой автоматической сварки под флюсом. При этом важно, чтобы скорость подачи дополнительной горячей присадки (ДГП) была такой же, как и скорость подачи электродной проволоки в дуговом процессе, чтобы сохранить достигнутую производительность сварки.

С учетом представленных требований был выполнен тепловой расчет нагрева присадочной проволоки в сварочной ванне до температуры полного расплавления. Расчет показал, что на входе в сварочную ванну температура ДГП должна составлять 1100 ... 1200°C. Эти значения наряду со скоростью подачи ДГП являются исходными данными для последующего расчета параметров подогрева проволоки протекающим током. Результатом проведенных расчетов являются графики, связывающие величину тока подогрева с удельным сопротивлением, диаметром и вылетом присадочной проволоки.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

### РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПАЙКИ ЛОПАТОК СУДОВЫХ ГТД

Сергей Вадимович Гуркин,  
*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»*

Для восстановления лопаток газовых турбин пайкой в вакууме неподвижный источник теплоты не применим, целесообразно использовать колеблющийся (сканирующий) источник. Колеблющийся столб дугового разряда полым катодом (ДРПК) в вакууме – весьма эффективный технологический инструмент для пайки. Законы движения пятна нагрева оказываются определяющими для источников теплоты. Наиболее просто получить колебания столба разряда вдоль и поперёк паяного шва. Они могут быть заданы как треугольные, пилообразные, прямоугольные, синусоидальные и круговые. Во всех случаях распределение теплового потока в пятне нагрева считают распределённым по закону Гаусса. Источники теплоты рассматриваются для крайнего случая, когда в точках, находящихся в зоне нагрева, температурные волны практически отсутствуют уже при частотах 10-15 Гц (при температурном поле, близком к стационарному).

Рассмотрим процесс распространения теплоты в плоском слое при воздействии на него поверхностным нормально – круговым источником теплоты, сканирующим с заданной амплитудой. Примем перемещение источника в пределах амплитуды по синусоидальному закону. Тогда согласно [1] можно записать выражение для определения температур в области воздействия данного источника теплоты. Таким образом, зная теплофизические свойства металла паяемого изделия, его размеры и массу, а также размеры паяного шва и температурные условия пайки, расчётным путём были определены размеры паяных соединений по длине и толщине прогрева.

При однокоординатном сканировании удалось равномерно прогреть поверхность длиной 3 см на глубину до 0,8 см. Для этого потребовались следующие параметры: частота сканирования 20 Гц, коэффициент сосредоточенности  $k=1$ , мощность источника теплоты 1700 Вт, амплитуда сканирования 3 см, время сканирования 100 с. Сканируя по двум координатам, можно прогреть изделие на глубину свыше 0,8 см и длину до 4 см.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

**УДК 620.932.4**

### УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТЕЛА ТРУБЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ПРИ ПОМОЩИ ВОЛН ЛЭМБА

Антон Викторович Гусаров,  
*студент 6 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»*

Инструкцией по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов», утвержденной ОАО «Газпром» в 2008 году, предусматривается технология диагностирования труб и их соединительных деталей (СТД) преимущественно с использованием сканеров-дефектоскопов.

В целом, совокупность применяемых средств контроля должна обеспечивать выявление дефектов наружной поверхности труб и СТД глубиной 0,3 мм и более. В настоящее время эта задача сканерами-дефектоскопами не решается. По существу, они являются индикаторными средствами. Поэтому на практике диагностирование труб и СТД осуществляют с использованием комплекса методов и средств.

В полевых условиях применяют много типов сканеров-дефектоскопов, использующих различные методы: магнитные, ультразвуковые, метод магнитной памяти металла и другие, которые используют, как правило, один метод контроля, выявляют с разной вероятностью дефекты глубиной от 5 - 10% толщины стенки трубы. Все эти приборы, как правило, имеют конструктивные недостатки.

Поэтому направлением работы было выбрано модернизация существующего сканера-дефектоскопа (АВТОКОН-МГТУ) в направлении замены пьезоэлектрических преобразователей на ЭМАП. Для контроля были выбраны волны Лэмба, как наиболее

чувствительные к поверхностным дефектам, которые являются наиболее распространёнными для данного изделия. При расчетах дифракции волн Лэмба основным видом дефекта был принят плоскостной вид. Также были подобраны нулевые моды симметричных и антисимметричных волн и выбран теневой метод контроля.

### Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.
2. СТО Газпром 2-2.3-173-2007 Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением.
3. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука, 1981 -326 с.

УДК 621.791

### РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ СВАРКЕ МНОГОПРОХОДНОГО УГЛОВОГО ШВА

Денис Сергеевич Давыдов,  
*студент 4 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Одной из важных проблем для компьютерного моделирования процесса сварки является построение математической модели. Первоочередной задачей в моделировании процесса сварки является решение тепловой задачи, так как её решение является базой для дальнейших расчетов сварочных деформаций и напряжений, структуры и диффузии водорода.

Как правило, при сварке теплота либо вводится в изделие через некоторый участок, называемый пятном нагрева, либо генерируется в некотором объеме в глубине материала. Не затрагивая физических аспектов появления теплоты в телах, можно отметить, что реальные сварочные источники теплоты имеют различные распределения и интенсивности тепловых потоков.

Все это ведет к тому, что при моделировании каждой конкретной задачи необходимо проводить эксперимент, чтобы подобрать необходимое распределение источника, либо уже заранее иметь источник для такого типа соединения. В реальности необходим более гибкий и универсальный подход, когда по выбранному сварочному источнику и заданным режимам строилось необходимое распределение мощности.

В данной работе анализируются различные распределения сварочного источника. Анализ проводился методом конечных элементов в ПК «Сварка». На первом этапе работ была получена геометрическая модель таврового соединения и углового шва с соответствующей раскладкой валиков. Далее задавались граничные условия для определения температурного поля. Моделирование велось по следующим

направлениям: варьировались распределения сварочного источника вдоль шва и поперек шва.

На втором этапе проводился анализ полученных результатов. Параллельно строилась модель в программе «Свариваемость». Далее строились сварочные термические циклы для зоны шва и ОШЗ. Проводилось сравнение полученных результатов, определялась скорость охлаждения в интервале температур от 600 до 500°C.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Нервного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

**УДК 621.791**

### **ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЮ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ПОМОЩИ МАШИННЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Анжелика Валерьевна Дорохина, Андрей Владимирович Лисняк,  
*студенты 4 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королёв,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Холодные трещины (ХТ) – частый сварочный дефект в соединениях углеродистых и легированных сталей. Они могут возникать во всех зонах сварного соединения и располагаться параллельно или перпендикулярно оси шва. Место образования и направление трещин зависит от состава шва и основного металла, соотношения компонент сварочных напряжений и некоторых других обстоятельств.

Для оценки сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин часто применяют машинные испытания, которые предусматривают замедленное разрушение сварных образцов. При испытаниях металл зоны термического влияния или металл шва доводится до образования холодных трещин под действием напряжений от внешней длительно действующей постоянной нагрузки. Серию образцов при испытании нагружают различными постоянными нагрузками непосредственно после окончания сварки и выдерживают их под нагрузкой в течение 20 часов. При этом используют следующие типы образцов:

- а) плоский круглый образец для стали толщиной 1-6 мм, нагружение распределённой нагрузкой;
- б) тавровый для стали 8-20 мм, нагружение изгибающим моментом;
- в) плоские прямоугольные для стали 8-20 мм, нагруженные путём изгиба или растяжения;
- г) цилиндрический с винтовым надрезом, нагруженный растяжением.

Задача, которая решалась в данной работе, заключалась в оценке сопротивляемости сварных соединений труб. Для решения использовалась испытательная машина ЛТП 2, которую было необходимо адаптировать под заданные

условия, т.е. разработать приспособления для проведения опытов с образцами изогнутой формы.

Было необходимо предусмотреть возможность вертикального и горизонтального закрепления образцов и решить проблему соскока скобы с образца. А также разработать конструкцию скобы для установки образцов различной кривизны.

Разработанное приспособление пригодно как для оценки сопротивляемости образованию продольных трещин (горизонтальное расположение шва), так и поперечных (вертикальное).

### Литература

2. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

### СПОСОБ СВАРКИ ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ШВА ШАРОВАЛЛОНА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Владимир Леонидович Зубков,

*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»*

Для сварки сферических заготовок шаробаллонов из титанового сплава наиболее часто применяют автоматическую сварку неплавящимся электродом в контролируемой атмосфере и электронно-лучевую сварку (ЭЛС) в вакууме. У каждого из этих способов есть свои недостатки и существенные сложности в достижении качественно выполненного шва. Например, недостатками ЭЛС являются следующие факторы: формирование обратного валика не удовлетворяет требованиям ОСТА, высокие требования к сборке, зазор не более 0,2 мм, требует защиты от рентгеновского излучения. При автоматической сварке неплавящимся электродом в контролируемой атмосфере возникают проблемы с довольно широкой зоной термического влияния, невысокой концентрацией энергии при сварке титана, низкой энергетической эффективностью, высоким расходом аргона. Было предложено выполнять сварку таким способом, как аргонодуговая сварка полым катодом в вакууме. Данный способ является более рациональным, поскольку достигается высокое качество защиты сварного шва и экономия аргона за счет сварки в вакууме (в 300 раз меньше подача аргона, чем в контролируемой атмосфере), экономия присадочной проволоки, сварка осуществляется с повышенной производительностью (скорость сварки в 3-4 раза выше по сравнению с контролируемой атмосферой), и требуемое оборудование не является сложным. Недостатком выбранного способа сварки можно считать только более низкую проплавленную способность чем при ЭЛС, что накладывает лишь определенные ограничения на толщину свариваемых полусфер.

Также были представлены результаты и проведен анализ механических свойств сварных соединений титанового сплава ВТ6-С, выполненных дуговой сваркой в

контролируемой атмосфере и в вакууме, а так же проведен металлографический анализ сварных соединений. Стало ясно, что для повышения механических свойств титанового сплава ВТ6–С необходимо переходить от сварки в контролируемой атмосфере инертных газов на способ дуговой сварки в вакууме.

### Литература

1. Неровный В. М., Ямпольский В. М. Сварочные дуговые процессы в вакууме. - М.: Машиностроение, 2002.-264 с.
2. Неровный В. М. Теплофизические особенности сварки высококонцентрированными источниками энергии: Учебное пособие. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1997.
3. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической технике / Б.А. Колачёв, Ю.С. Елисеев, А.Г. Братухин, В.Д. Талалаев. – М.: Изд-во МАИ, 2001. -328 с.

УДК 620.179.1

### ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ ЭМА – ИСТОЧНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЭФФЕКТЕ СИЛЫ ЛОРЕНЦА

Кирилл Максимович Зюганов,  
студент 2 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Дерябин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время широкое применение в неразрушающем контроле нашли бесконтактные источники ультразвуковых колебаний, использующие в своей работе электромагнитные эффекты возбуждения ультразвуковых волн. Особый интерес представляет возбуждение ультразвука силой Лоренца, так как эта сила возбуждает ультразвуковые волны в любом токопроводящем материале.

Важным фактором, влияющим на результаты контроля являются свойства диаграммы направленности подобных преобразователей.

Расчеты, сделанные согласно [1-5], показали, что количество лепестков диаграммы зависит от отношения максимального диаметра траектории вихревого тока к длине волны  $\lambda$  возбуждаемых колебаний. Диаграмма направленности имеет симметричный вид, причем колебания частиц в правой и левой частях диаграммы происходят в противофазе. Этот факт объясняется направленностью силы Лоренца.

Следующими важными характеристиками диаграммы направленности являются углы наклона центральных лучей лепестков и мертвая зона диаграммы направленности. Было установлено, что при увеличении частоты вводимой волны уменьшается угол между первым лепестком диаграммы и осью симметрии, а это значит, что уменьшается значение угла, то есть уменьшается величина мертвой зоны диаграммы направленности.

## Литература

1. Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3 т. / Под ред. Г.С. Ландсберга: Т.2. Электричество и магнетизм. – 13-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 480 с.
2. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 496 с.
3. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред.- М.: Наука, 1982. – 335 с.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. – 344 с.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.

**УДК 620.932.4**

### **ОСОБЕННОСТИ ДЛИННОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОБОВ**

Дмитрий Игоревич Кадников,  
*студент 6 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 производстве морских магистральных трубопроводов актуальной задачей является обеспечение высокой скорости контроля не теряя качества и достоверности контроля.

В последние годы в связи с развитием техники перспективным к применению в УЗК стали когерентные методы визуализации несплошностей.

Применительно к этому, рассматривается технология фазированных решеток с использованием эхо-метода и TOFD (Time-of-flight diffraction) метода. Главной особенностью этого метода является отсутствие поперечно-продольного перемещения при сканировании, выявление высоты трещины (TOFD). Весьма ценной является информация о форме дефекта, его ориентации и о его реальных размерах. Эта информация необходима для расчета прочности конструкции и повышения вероятности правильной оценки ее остаточного ресурса. Определить вид и форму дефекта проще по двумерному изображению, которое и дают вышеприведенные технологии.

В последние годы в связи с развитием техники перспективным к применению в УЗК стали когерентные методы визуализации несплошностей.

## Литература

1. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: В 7 т. / Под общ. Ред. В.В. Клюева. Т. 3. Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2004. - 864 с.

3. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов /А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
4. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368 с.
1. 5. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.

**УДК 621.791**

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТА ТС-16 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СВАРКИ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Валентин Сергеевич Килёв,  
*студент 5 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.Ф. Якушин,*  
*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

При изготовлении сварных стальных мостовых конструкций широко применяется сварочный автомат ТС-16. В частности, в сварочных подразделениях мостоотрядов таких автоматов большинство.

Растущие объемы производства требуют повышения производительности сварочных работ при обеспечении высокого качества получаемых соединений. При существующей технологии автоматической сварки стыковых швов в нижнем положении в разделку до начала сварки засыпают металло-химическую присадку (МХП), представляющую из себя мелко порубленную сварочную проволоку (крупку), обработанную порошком оксида титана. Применение технологии автоматической сварки под флюсом с МХП позволяет увеличить количество наплавленного металла до 70 процентов, но требует дополнительных трудовых затрат на приготовление МХП, ее хранение и аккуратную укладку в подготовленный к сварке стык.

Перспективным альтернативным способом повышения производительности автоматической сварки под флюсом является оснащение сварочного трактора ТС -16 приспособлением для сварки с дополнительной горячей присадкой (ДГП), нагреваемой электроконтактным способом. Эксперименты и расчеты показали, что гарантированное расплавление ДГП достигается при ее расходе, превышающем расход электродной проволоки. Этот способ также позволяет существенно увеличить производительность сварочных работ.

### **Литература**

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДЕТАЛЯМ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Ольга Александровна Крупнина,  
*студент 5 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

С середины 20 века, после открытия рентгеновских лучей и изучения взаимодействия их с веществом, интенсивно развивается такое направление неразрушающего контроля, как радиационная дефектоскопия.

Основой метода радиационного контроля является получение информации о структуре объекта контроля (ОК) при прохождении через него ионизирующего излучения. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом сопровождается некоторыми характерными явлениями, каждое из которых определяет метод регистрации излучения, т.е. физические или химические явления, определяющие тип приемника радиационного излучения.

Рентгенографический метод основан на фотографическом действии, которое заключается в передаче части энергии фотонов рентгеновского излучения молекулам бромистого серебра, из которых, в частности, состоит эмульсия радиографической пленки. Результатом преобразования излучения является радиографический снимок, на котором участки пленки, получившие большую дозу излучения, получают более темными, нежели участки, получившие меньшую дозу. Данный метод получил наибольшее распространение для контроля изделий и узлов авиационной и космической техники, благодаря многолетнему опыту использования и отработанной научно-технической и нормативной базе.

Классификация и, соответственно, основные характеристики радиографических пленок регламентированы стандартом EN 584-1. Методика выбора пленки в зависимости от характеристик ОК отработана и, при соблюдении рекомендаций выбора, результаты контроля гарантированно удовлетворяют требованиям по чувствительности и разрешающей способности ГОСТ 29426-82, ГОСТ 7512-82, стандартом EN ISO 17636-2.

При всех очевидных преимуществах радиографических пленок, основным недостатком радиографического метода является низкая производительность, высокая себестоимость и трудность автоматизации процесса контроля.

Рентгеноскопический метод основан на таких явлениях, как внешний фотоэффект, ионизация в твердом теле, а также люминесценция кристаллов. Каждый из этих эффектов, а также их комбинации, с развитием компьютерной техники и микроэлектроники, определяли развитие новых комплексов для преобразования радиационного изображения в светотеневую картину взамен радиографической пленки.

Пластины с фотостимулированной памятью, так называемые «фосфорные» пластины, используются как возможный аналог пленки многократного использования, с сокращенным временем обработки и экспонирования. При заявленных преимуществах, существуют недостатки технологического характера, влияющие на

качество контроля. Поэтому на данном этапе развития этой технологии, полное исключение радиографической пленки из процесса контроля невозможно.

Появление рентгеновских электронно-оптические преобразователей (РЭОП) и усилителей изображения стало еще одним этапом в развитии рентгеноскопических методов. Коэффициент преобразования, коэффициент усиления, разрешающая способность, отношение сигнал/шум, динамический диапазон, – являются основными характеристиками РЭОП, впоследствии определяющими качество полученного изображения.

Плоскопанельные цифровые детекторы являются наиболее перспективным типом преобразователей рентгеновского излучения и активно внедряются в процесс неразрушающего радиационного контроля. Проведен ряд экспериментальных исследований для изучения возможностей применения данной системы для выявления различного вида дефектов изделий и узлов авиационной и космической техники. По результатам экспериментального сравнения пленки и цифровых детекторов по таким характеристикам как чувствительность, разрешающая способность и диапазон рабочих напряжений, сделан вывод о возможности перехода от радиографического метода к радиоскопическому. Обозначен ряд изменений технологического характера, что необходимо отразить в нормативной документации.

### Литература

1. Добромыслов В.А. Радиационные методы неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1990. 104с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др.; Под ред. Ключева В.В. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
3. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
4. ГОСТ 27947-88 Контроль неразрушающий. Рентгенотелевизионный метод. Общие требования.
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.

**УДК 620.179.1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТЕННЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК**

Максим Алексеевич Лавренченко,  
*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»*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) - многокомпонентные материалы, основу которых составляет полимерная матрица (связующий состав), армированная наполнителями из волокон, жгутов, нитей, лент и др. Путем подбора

состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя, можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. В процессе изготовления изделия возможно появление таких дефектов, как непроклеи, расслоения (единичные, множественные), трещины, царапины, поры, включения, складки (внутренние, поверхностные) и др.

Акустические методы контроля позволяют обеспечить высокую чувствительность, надёжное выявление и регистрацию дефектов с шириной раскрытия до  $10^{-5}$  мм. Получаемая при помощи акустического контроля информация о размере, площади и ориентации дефекта в пространстве, даёт возможность построения качественного изображения для последующей оценки работоспособности и ресурса конструкции из ПКМ.

В работе было проведено исследование образцов из ПКМ, подверженных ударным нагрузкам, на наличие дефектов типа расслоения. Предварительно были определены значения скорости звука и затухания в исследуемом образце. В результате получены форма, расположение и геометрические параметры имеющихся дефектов. Контроль проводился в иммерсионной ванне с использованием дефектоскопа ISONIC 2009, преобразователь на антенных фазированных решетках с 64 пьезоэлементами, и специально изготовленной оснастки для установки и фиксации образца и преобразователя. Таким образом, были получены: влияние толщины слоя воды на выявление дефектов, зависимость чувствительности контроля от величины апертуры, методика контроля.

Предложенная методика контроля может быть использована при разработке технологии ультразвукового контроля деталей авиационной промышленности, строительстве мостов и тоннелей, а так же других ответственных конструкций.

## Литература

1. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368 с.

**УДК 621.791**

## **СВАРКА С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРИСАДКОЙ - ПЕРСПЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ**

Арина Сергеевна Микенина,  
*студент 6 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»*

В последние десятилетия при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов традиционные низколегированные стали с твердорастворным упрочнением, такие как 09Г2С, 17ГС, 17Г1С и их аналоги, заменяются на малоперлитные микролегированные трубные стали нового поколения, получаемые методом контролируемой прокатки. Новая технология производства трубных сталей обеспечивает их высокие прочностные и вязкие свойства, что

позволяет существенно уменьшить металлоемкость, стоимость сооружения и эксплуатации газопроводов.

Однако, высокодисперсная структура современных трубных сталей оказалась весьма чувствительной к тепловому воздействию сварки. Так, при использовании традиционной многодуговой автоматической сварки продольного шва труб большого диаметра для магистральных газопроводов, в результате значительного тепловложения может происходить растворение карбидной и нитридной фаз в околошовной зоне сварного соединения, что приводит к значительному росту зерна аустенита и заметному снижению показателей ударной вязкости. В этой связи технология сварки продольных швов труб для магистральных газопроводов требует модернизации с учетом специфики новых трубных сталей.

Перспективным решением данной проблемы может быть автоматическая многодуговая сварка под флюсом с применением дополнительной горячей присадки (ДГП). Подогретая протекающим током до температуры 1100 – 1200 градусов электродная проволока подается в хвостовую часть сварочной ванны вместо одной из дуг. В результате снижаются тепловложения в основной металл, вследствие расхода теплоты ванны на плавление присадки. Проведенные расчеты показали, что даже в случае замены четырехдугового процесса на трехдуговой с ДГП, гарантированное расплавление ДГП теплотой ванны обеспечивается при скорости подачи ДГП, сопоставимой со скоростью подачи электродной проволоки при дуговом процессе. Таким образом, достигнутая производительность сварки может быть сохранена, что очень важно для массового производства сварных труб.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

### РАЗРАБОТКА ИМИТАТОРА СВАРОЧНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

Зульфия Хусаиновна Муртазина,  
*студент 3 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»*

Вследствие локального тепловложения при сварке структура и свойства различных зон сварного соединения заметно различаются [1]. Так, рядом со швом образуется зона термического влияния (ЗТВ), которая, в свою очередь, состоит из нескольких характерных участков. В непосредственной близости от шва, где максимальные температуры нагрева превышали 1000°C, располагается участок перегрева с крупным зерном. Рядом с ним расположен участок полной перекристаллизации, в котором максимальные температуры превышали  $A_3$  и  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение произошло полностью с образованием мелкого зерна аустенита. Далее расположены участок неполной перекристаллизации, участок отпуска и т.п.

В связи с тем, что размеры указанных участков ЗТВ невелики, исследовать свойства материала непосредственно на сварном соединении очень сложно. Поэтому в практике сварочного материаловедения обычно используют образцы основного металла, обработанные имитированным сварочным термическим циклом (СТЦ).

Для проведения таких исследований на кафедре сварки МГТУ им. Н.Э.Баумана разрабатывается 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 с 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. Для защиты оператора от брызг и пара предусмотрена откидная прозрачная крышка. За рабочей камерой в экранированном отсеке располагается блок электронного управления, обеспечивающий согласованную работу всех систем установки.

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 термопара, 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.

### **Литература**

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Нервного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

**УДК 621.791**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ НАДТЕЛЕЖЕЧНОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ВАГОНА ТРАМВАЯ**

Евгений Валерьевич Носов,  
*студент 5 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

В Москве в 2014 году вводят в эксплуатацию трамваи с низким полом.

Была рассмотрена сборка-сварка надтележечной рамы тележки вагона трамвая. Данный тип конструкций ранее в Российской Федерации не производился. В ходе анализа была разработана технология сварки-сборки конструкции, спроектирован стенд для сборки-сварки.

Для разработки технологии был проведен тепловой расчет, для выбора режимов сварки.

В процессе проектирования стенда был проведен расчет на усадку сварного шва, исходя из которого выбраны сварочные прижимы.

При проектировании стенда была поставлена задача использования максимального количества стандартных узлов. В итоге было решено составить стенд из стандартных сварочных приспособлений (УСП). При проектировании стенда учитывалась эргономика рабочего места, удобство монтажа и сварки конструкции и максимальное использование комплекта поставки УСП.

Весь процесс проектирования был выполнен в программной среде CATIA 5v19, а расчет усадки шва в программной среде Autodesk Inventor.

Результаты проектирования переданы предприятию изготовителю.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

### РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС – МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ЖАРОПРОЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Джулустан Иванович Оленов,

*студент 6 курса,*

*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*

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

*Научный руководитель: Б.Ф. Якушин,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Жаропрочность – особая характеристика сопротивления разрушению, зависящая от одновременного воздействия на материал 3-х факторов: температуры, времени и деформации. Стандартные оценки жаропрочности содержатся в двух стандартах: испытания на ползучесть и испытания на длительную прочность. При этом предусматривается ступенчатое изменение температуры, с выдержкой под напряжением в печах с защитной атмосферой. Испытания на жаропрочность требуют значительных затрат времени и энергоресурсов.

В ряде конструкций ответственного назначения специфика эксплуатации состоит в непрерывном повышении температуры и напряжений в пределах ресурса, что затрудняет применение стандартных методов. В МГТУ им. Н.Э.Баумана эта проблема решена путем идентификации условий эксплуатации изделий и испытания образцов из исследуемого материала. Метод испытания предусматривает компьютерное моделирование в образцах изменений температуры и деформации во времени, соизмеримым с заданным ресурсом.

Разработана экспресс-методика и оборудование, позволяющее заменить нагрев в электропечах электроконтактным нагревом, а напряжения, создаваемые грузами, заменить на замедленную деформацию образцов механическим приводом. Указанные изменения процесса испытания осуществлены при гибком компьютерном моделировании процесса и его исполнении в регулируемом варианте с обратными связями по температуре и деформации.

В качестве примера проведены результаты испытания двух жаропрочных сплавов 1201Т и 1151Т и их сварных соединений по одинаковой программе, длительностью 15 мин с возрастанием температуры по параболе до 450°С. Из них следует, что жаропрочность сплава 1151 выше в 1,5 раза, чем 1201Т, а все сварные соединения уступают основному металлу. При этом соединения, выполненные методом лазерной сварки с присадкой, имеют более высокую жаропрочность, чем соединения, полученные MIG и TIG сваркой с соответствующей присадкой. MIG сварка уступает по жаропрочности TIG сварке.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Нервного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

**УДК 53.084.823**

### **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АУСТЕНТНОГО ПОДСЛОЯ**

Александр Сергеевич Поддубный,  
*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»*

Проведен анализ существующих технологий износостойкой наплавки транспортирующего шнека, который используется в производстве кирпича и испытывает сильный абразивный износ. Сталь 35Л, из которой выполнен данный шнек, относится к группе ограниченно свариваемых, и при наплавке образуются трещины, а в худшем случае происходит откол наплавленного слоя от основного металла. Это связано с тем, что наплавленный и основной металлы отличаются по составу и структуре, и в зоне сплавления не обеспечивается достаточная прочность из-за образования хрупких прослоек; а так же с усадочными напряжениями, возникающими в наплавленном металле. К сожалению, использование подогрева для устранения этих проблем вызывает ряд неудобств, связанных с габаритами наплавляемого изделия, а так же увеличивает экономические и временные затраты.

Поэтому предлагается использовать технологию наплавки с подслоем. Суть такой технологии заключается в том, что вначале наплавляют подслоя из более пластичного материала, который в результате наплавки будет иметь аустенитную структуру, а затем уже на него наплавляют износостойкий материал. Такая технология наплавки не требует подогрева и позволяет получить хорошие свойства наплавленного слоя, а так же уменьшает вероятность его откола в процессе эксплуатации.

Была также проведена апробация такой технологии наплавки. Апробация проводилась с использованием проволок Св-04Х19Н9 в качестве материала для подслоя и DO\*390N в качестве материала для наплавки износостойкого слоя. Для улучшения свойств и геометрии наплавленного слоя так же применялись поперечные колебания сварочной горелки с использованием блока колебаний.

## Литература

1. Влияние технологии дуговой наплавки на структуру и стойкость покрытий на основе железа к гидроабразивному износу / Г.Г.Чернышов, Н.В.Коберник, А.Г.Орлик, Г.В. Орлик. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. - 20 с.
2. *Лившиц Л.С.* Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин // Сварочное производство.- 1991.- №1.- С.15-17.
3. *Чернышов Г.Г. Коберник Н.В. Орлик А.Г.* Влияние структуры наплавленных покрытий на стойкость к абразивному износу // Физика и химия обработки материалов.- 2011.- №5.- С. 44-50.
4. *Хасуи А., Моригаки О.* Наплавка и напыление / Пер. с яп. В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.

**УДК 621.791.01.62.19**

### **ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ И РЕСУРС СВАРНОЙ РЕМОНТНОЙ МУФТЫ**

Михаил Александрович Пономарев,  
*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»*

Магистральные нефтепроводы работают при циклических нагрузках, поэтому на их прочность оказывают влияние концентраторы напряжений. В ремонтных конструкциях нефтепроводов нельзя исключить концентрацию напряжений, так как они привариваются к трубопроводу нахлесточным соединением. В связи с тем, что концентрация напряжений неизбежна, необходима оценка напряженного состояния с целью такого изменения геометрии ремонтных конструкций, при которой концентраторы находятся в области сжимающих напряжений и не снижают долговечность.

Однако после сварки в сварных швах возникают растягивающие остаточные напряжения, близкие по значению к пределу текучести материала, которые при взаимодействии с напряжениями от рабочих нагрузок создают в зонах концентрации напряжений неблагоприятные условия, способствующие росту трещин.

В данной работе анализируется влияние сварочных напряжений на напряженное состояние в зоне приварки ремонтной муфты к трубе. Анализ проводился методом конечных элементов в ПК «Сварка».

Для проведения расчетов напряжений была построена геометрическая модель дефектной трубы и привариваемой части муфты, включающая нахлесточное многопроходное сварное соединение с соответствующей раскладкой валиков. Далее задавались граничные условия для расчета температур и напряжений в процессе сварки, а также рабочие нагрузки при эксплуатации конструкции после ремонта. Задание граничных условий усложнялось тем, что сварка проводится на действующем нефтепроводе, поэтому была учтена большая теплоотдача в проходящий поток нефти.

На первом этапе расчетов решалась термомодеформационная задача – многопроходная сварка кольцевого нахлесточного шва приварки муфты к трубе. Отсюда были получены остаточные сварочные напряжения. Дополнительные напряжения в нахлесточном соединении создает поперечная усадка расположенного рядом кольцевого стыкового сварного шва.

На втором этапе вычислялись напряжения после сварки и приложения рабочих нагрузок, чтобы оценить суммарные напряжения. По результатам их анализа предложены методы снижения сварочных напряжений в сварных ремонтных муфтах.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Нервного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА АУСТЕНИТА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Дмитрий Эдуардович Рубцов,  
студент 4 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Куркин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»

При моделировании фазовых превращений приходится сталкиваться с недостатком исходных данных. Экспериментальное определение параметров сложно и не оперативно, а опубликованные данные для конкретного химического состава, как правило, отсутствуют. Предложен метод моделирования на основе регрессионных моделей, построенных по результатам обобщения литературных данных.

Первым этапом работы является упрощение модели превращения и сокращение до минимума числа параметров, необходимых для ее идентификации с учетом ограниченной точности доступных данных.

При перестроении диаграмм распада аустенита в зависимости от скорости охлаждения их вид значительно упрощается. Линейные участки охватывают большую часть графика начал диффузионных превращений (ферритного, перлитного и бейнитного). Это позволяет принять за интервал превращения тот диапазон температур, в котором превращение идет наиболее интенсивно, и считать скорость превращения в этом интервале не зависящим от температуры, т.е. С-образную кривую диаграммы превращения заменить на П-образную. При этом количество образовавшейся новой фазы зависит только от времени нахождения стали в этой области температур. Необходимость такого преобразования связана с разнообразием форм и сомнительной точностью опубликованных С-образных кривых.

Таким образом, каждое диффузионное превращение низколегированной стали в процессе ее охлаждения может быть описано четырьмя параметрами: двумя температурными границами интервала превращения и двумя коэффициентами уравнения кинетики превращения во времени (уравнения Аврами). Анализ

литературных данных позволяет получить регрессионные зависимости этих параметров от химического состава стали.

Поскольку основным назначением анализа фазового состава стали является оценка ее свойств, необходимо конкретизировать свойства каждого фазового компонента, в частности, бейнита. Известно, что верхний бейнит по свойствам близок к перлиту, а нижний – к мартенситу. В этих случаях необходимо считать, что в стали присутствует смесь бейнита с соответствующей другой фазой. В качестве наиболее надежного показателя фазового состава предполагается использовать итоговую твердость стали после охлаждения.

## Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 621.791

## ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Михаил Эдуардович Рубцов,  
*студент 4 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,*  
*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

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.

Построение таких зависимостей требует огромного объема экспериментальных исследований, поэтому решение задачи возможно только с привлечением литературных данных. Статистическая обработка позволяет скомпенсировать ошибки и неточности, неизбежно присутствующие в таких данных.

В качестве первого источника экспериментальных данных о температурных интервалах фазовых превращений сталей выбран атлас диаграмм распада аустенита П.Зайферта. Важно, что стали испытывались в условиях сварочного термического цикла с максимальной температурой нагрева 1350°C. В результате обработки диаграмм получены регрессионные модели температур начала и конца феррито-перлитного, бейнитного и мартенситного превращений.

Вначале использованы 40 специальных модельных сталей с различным содержанием только трех легирующих элементов: С, Si и Mn. Получены модели множественной регрессии, учитывающие влияние этих компонентов и их сочетаний, с коэффициентами корреляции свыше 0,9.

Далее были использованы данные 61 остальных сталей промышленных марок, в том числе 23 образцов присадочных сварочных материалов, а также данные из других

атласов. Это позволило дополнить модели влиянием таких легирующих элементов, как Cr, Ni, Mo, V и W.

Сопоставление реальных температурных интервалов для каждой из этих сталей с расчетными позволило не только оценить построенные модели, но и сопоставить их с аналогичными моделями, опубликованными в литературе. Сопоставление выявило существенные недостатки ряда опубликованных моделей. Имеются расхождения в несколько десятков градусов как при сравнении моделей с диаграммами Зайферта, так и при сопоставлении их между собой. Это показывает актуальность работ по совершенствованию моделей.

## Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

УДК 620.179.1

### **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЙ В ДИАГРАММЕ НАПРАВЛЕННОСТИ ЭМА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Василий Дмитриевич Соколов,  
*студент 2 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»*

Практическое применение электромагнитно – акустических (ЭМА) преобразователей с использованием эффекта силы Лоренца осложняется наличием поверхностных дефектов на поверхности контролируемого объекта. Данная работа посвящена изучению влияния поверхностных дефектов на формирование диаграммы направленности электромагнитно- акустического источника ультразвука.

Для решения задачи примем, что существуют два типа дефектов: дисковые (имитируют коррозионное поражение) и в виде рисок (трещины).

Рассмотрено два критических случая расположения дефектов на вихретоковом кольце относительно внешнего магнитного поля (силы Лоренца): в точке с максимальным значением силы Лоренца и в точке перехода нулевой отметки данной силы.

Расчеты, сделанные согласно [1-5], показали следующее:

1. Размер дискового дефекта, расположенного в точке перехода силы Лоренца через нулевую отметку существенно не влияет на диаграмму направленности.
2. При расположении дефекта в точке с максимальным значением силы Лоренца происходит «перекос» диаграммы, причем увеличение энергии первого лепестка происходит в той ее части, где находится поверхностный дефект.
3. Наличие трещиноподобных дефектов на поверхности контролируемого объекта существенно не влияют на диаграмму направленности.

## Литература

1. Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3 т. / Под ред. Г.С. Ландсберга: Т.2. Электричество и магнетизм. – 13-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 480 с.
2. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 496 с.
3. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред.- М.: Наука, 1982. – 335 с.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. – 344 с.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.

**УДК 620.179.141**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ**

Марина Сергеевна Терлецкая,  
*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»*

Магнитопорошковая дефектоскопия (МПД) предназначена для выявления тонких поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности металла – дефектов, распространяющихся вглубь изделий. Такими дефектами могут быть трещины, волосовины, надрывы, флокены, непровары, поры.

Магнитопорошковый контроль является одним из основных методов неразрушающего контроля и необходим для проверки ферромагнитных металлических конструкций.

В зависимости от конкретных задач неразрушающего контроля, марки контролируемого материала, требуемой производительности метода, могут использоваться те или иные первичные информативные параметры. К числу наиболее распространенных относятся: коэрцитивная сила, намагниченность, индукция (остаточная индукция), магнитная проницаемость, напряженность, эффект Баркгаузена.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что выявляемость дефектов при МПК напрямую зависит от глубины их залегания и расположения в зоне намагничивания.

## Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т./Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 1. В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2. Г.С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3. М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. ГОСТ 21105-87 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод».

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ АТТЕСТАЦИИ СВАРОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Алексей Максимович Тупицын,  
студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.А. Перковский,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»

В настоящее время ручная дуговая сварка плавящимся электродом является одним из самых распространённых методов получения неразъёмных соединений при изготовлении металлических конструкций. Преимуществами ручной дуговой сварки является простота, мобильность оборудования, возможность сваривать в местах, где невозможно применять механизированную или автоматическую сварку. Качество сварочного соединения при ручной дуговой сварке зависит от многих компонентов технологического процесса.

Одним из самых важных компонентов, влияющих на качество сварного соединения, является источник питания. Именно технологические свойства источника влияют на качество формирования сварочного шва.

Согласно [2] технологические свойства можно разделить на статические и динамические свойства.

Статические – это внешняя статическая характеристика источника и ее соответствие вольт-амперной характеристике дуги (способность поддерживать устойчивое горение дуги и заданный режим зависит от видов и взаимного расположения этих характеристик).

Динамические – это характеристики и скорости протекания переходных процессов в системе источник-дуга-ванна [2].

Для оценки соответствия источника питания необходимому технологическому процессу проводят аттестацию источников. К сожалению, на данный момент для аттестации используют трудоемкий и субъективный способ: проводят практические испытания, заключающиеся в сварке контрольно-сварного соединения (КСС) и оценивают источник по 5 параметрам: начальное зажигание, стабильность процесса сварки, разбрызгивание металла, качество формирования шва, эластичность дуги.

Для уменьшения влияния субъективного фактора и снижения трудоемкости процесса аттестации была разработана установка для моделирования практических испытаний, сбора сварочных параметров и передачи на портативный компьютер для последующего анализа и оценки.

### Литература

1. РД 03-614-03. Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов.
2. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник. М.: Высшая Школа, 1982. 182 с.

УДК 621.791.16

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА РЕМОНТА КОРПУСОВ МАШИН ИЗ СТАЛИ 20ХГСФЛ**

Марат Рафисович Фаткуллин,  
*студент 4 курса,*  
*кафедра «Технология нефтяного аппаратостроения»,*  
*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Научный руководитель: А.М. Файрушин,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология нефтяного*  
*аппаратостроения»*

В настоящее время одной из наиболее важных проблем в развитии нефтяного машиностроения являются повышение работоспособности машин и аппаратов, а также экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов. При эксплуатации нефтегазопромыслового оборудования с течением времени часто происходит разрушение элементов по сварным соединениям вследствие воздействия температурных и силовых нагрузок, коррозии и других факторов.

Причину разрушений в сварных соединениях базовых деталей можно объяснить наличием в них структурной неоднородности и остаточных напряжений. Электродуговая сварка на сегодняшний день является практически единственной применимой технологией, используемой при ремонте нефтегазопромыслового оборудования, в случае если требуются сварочные операции. Высококонцентрированный источник тепловой энергии и различная деформационная способность деталей являются причиной возникновения значительных остаточных напряжений, которые приводят к искажению формы, потере прочности и снижению коррозионной стойкости металла, что в дальнейшем негативно сказывается на работоспособности всей конструкции.

На текущий момент при ремонте корпусов насосов, гидравлических коробок, изготовленных из стали 20ХГСФЛ, используется традиционная технология ремонта с помощью ручной дуговой сварки электродами типа УОНИ 13/55 с сопутствующим подогревом дефектного участка и последующим высоким отпускком. Данная технология является малопроизводительной, трудновыполнимой, и при этом достаточно энергозатратной.

Разработанная нами технология сварки, которая заключается в комбинировании сопутствующего охлаждения и ультразвуковой обработки сварного шва позволяет значительно повысить производительность ремонтных работ, улучшить механические свойства сварного соединения и повысить коррозионную стойкость за счет снижения размера зоны термического влияния, снижения уровня сварочных напряжений в сварном шве, повышения прочностных свойств и ударной вязкости в зоне термического влияния.

**УДК 621.7.08**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ**

Дарья Евгеньевна Федорова,  
*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»*

В настоящее время одной из главных проблем обеспечения качества магистральных трубопроводов (МТ) является выявление расслоений металла на торцах труб. Наличие подобных дефектов является концентратором напряжений, которые вызывают рост трещин, а они в свою очередь способствуют разрушению трубопровода. В связи с этим возникла необходимость неразрушающего контроля торцов труб в процессе производства.

В данной работе произведен выбор метода выявления расслоений на торцевой поверхности магистральных труб. Определены параметры автоматического магнитопорошкового контроля. В целях повышения выявляемости дефектов и снижения стоимости контроля внесены предложения по выбору марки стали из ряда возможных. Проведен анализ величины напряженностей приложенного магнитного поля с учетом класса прочности сталей. Предложена рекомендация для дальнейшей работы.

### **Литература**

1. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов: практическое пособие / Под ред. В.Н. Лозовского – М.: Научно-технический центр «Эксперт», 1995. – 220 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге [и др.]; Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2008. – 864 с.
3. ГОСТ 21105-87 Неразрушающий контроль. Магнитопорошковый метод. – М.: Изд-во стандартов, 1987. - 12 с.
4. Шелихов Г.С., Глазков Ю.А. Магнитопорошковый контроль: Учебное пособие. – М.: Издательский дом «СПЕКТР», 2011. – 183 с.

**УДК 621.791**

## **ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА**

Глеб Константинович Хижняк,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

За исторически короткий период в нашей стране была создана уникальная по протяженности, производительности и разветвленности система магистральных трубопроводов для решения задач по экономической транспортировке газа, нефти и нефтепродуктов. К началу XXI века эта трубопроводная система стала одной из самых крупных инженерных сооружений общей протяженностью около 215 тыс. км.

В результате длительной эксплуатации возрос общий процент наличия локальных повреждений трубопроводов, что обуславливает необходимость проведения ремонтных работ. Средний возраст газопроводов составляет 29 лет, старше 27 лет - 37%, старше 37 лет - 15,9%. Срок службы почти половины магистральных нефтепроводов близок к амортизационному сроку эксплуатации: свыше 40 лет - 30%, от 27 до 37 лет - 37%.

В настоящий момент существуют различные методы ремонта магистральных трубопроводов. Их можно разделить на три группы: замена дефектного участка трубы, установка ремонтной конструкции, а так же ремонт дефектного участка методами наплавки. Наиболее перспективным является метод наплавки, так как он не требует изготовления заводских заготовок и остановки перекачки продуктов нефтегазовой промышленности.

В работе представлена технология ремонта локальных повреждений большой площади, начиная от подготовительных операций и заканчивая приемочными испытаниями. Так же представлено оборудование для реализации автоматического процесса ремонта магистрального трубопровода.

Технология наплавки для восстановления геометрии после удаления локальных повреждений была разработана на основе математического моделирования методом конечных элементов в программном комплексе «СВАРКА». В качестве технологии для удаления дефектной зоны была предложена воздушно-плазменная строжка. Это позволяет уменьшить габариты оборудования и повысить скорость удаления поврежденного металла.

## **Литература**

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В.Коновалов [и др.]; Под ред. В.М.Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

**УДК 53.084.823**

## **АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ЧАСТИ СВАРКИ УГЛОВЫХ ШВОВ**

*Александра Валерьевна Ходжаева,  
студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.И. Галкин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Основной особенностью металлоконструкций ферменного типа является наличие большого количества элементов (поясов, раскосов и пр.), сваренных под углом, отличным от  $0^\circ$  или  $90^\circ$ . Согласно [2] качество сварных соединений металлоконструкции необходимо проверять визуальным и измерительным методами контроля. Но при проведении контроля сварных соединений под острыми и тупыми углами, возникают методические проблемы, связанные с отсутствием в нормативно-технической документации однозначного определения параметра «катет углового шва». Так, например, документы [1], [3] и [4] имеют различные определения катета углового шва, что показано на Рис. 1. Таким образом, конструктор, сварщик и дефектоскопист в термин «катет» могут вкладывать различный смысл, что недопустимо в условиях производства.

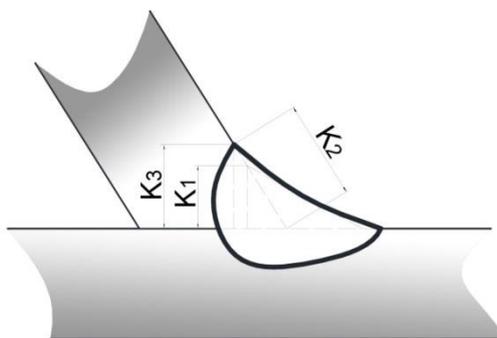


Рис. 1. Катет углового шва:  
 $K_1$  - по ГОСТ 14771,  $K_2$  - по ГОСТ Р ИСО 17659,  $K_3$  - по РД 03-606-03

Другая проблема связана с отсутствием средств измерений, позволяющих определить значения катета сварного соединения элементов, расположенных под углом – нет технической возможности установить средства контроля.

### Литература

1. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные.
2. ГОСТ 23118-99. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р ИСО 17659-2009. Сварка. Термины многоязычные для сварных соединений.
4. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

УДК 620.179.1

### ОСОБЕННОСТИ ДЛИННОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Сергей Николаевич Шишкин,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Технологии сварки и диагностики»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.И. Галкин,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

При продлении эксплуатационного ресурса магистральных трубопроводов актуальной задачей является обеспечение качественной и достоверной диагностики с минимальными финансовыми и трудовыми затратами. Особенно это становится актуально при пересечении магистральных трубопроводов с составной частью транспортной дорожной инфраструктуры.

Применительно к этому рассматривается метод длинноволновой ультразвуковой диагностики (Long Range Ultrasonic Testing или сокращенно LRUT) трубопроводов. Главной особенностью метода, полностью отличающей его от традиционных способов ультразвукового контроля, является использование нормальных волн низкой частоты. Эти волны характеризуются небольшим затуханием, так как энергия при распространении концентрируется между нижней и верхней поверхностями трубы. Второй особенностью данного метода является возможность проводить сплошной контроль без остановки или вывода из эксплуатации объектов инфраструктуры и без снятия изоляции с трубопровода. Таким образом, такая технология позволяет повысить производительность и значительно сократить затраты на проведение контроля.

Термин «нормальная низкочастотная волна» в неразрушающем контроле означает волну с высокочастотной модой, распространяющуюся вдоль пластин или труб. Нормальные волны распространяются на значительные расстояния в трубах под землей, под водой или покрытых изоляцией.

В работе проанализированы возможности существующих технологий контроля подобных объектов. Были проведены исследования и определены основные параметры контроля. На основании расчетных формул был получен график зависимости частоты от угла ввода. Так же был определен размер слоя неопрена, добавленного к поверхности преобразователя для уменьшения разницы акустического импеданса и лучшей передачи между преобразователем и исследуемым объектом.

### **Литература**

1. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука, 1981. -326 с.
2. Ерофеев В.И., Кажаяев В.В., Семерикова Н.П. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. - М.: Наука, 2002.- 179 с.
3. Баранов В.М. Гриценко А.И. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса. - М.: Наука, 1998. - 304 с.



## **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

## АНАЛИЗ И СТРУКТУРЫ СВОЙСТВ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

Олег Рамирович Акбашев,

студент 6 курса,

кафедра «Материаловедение»,

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: Кобелева Любовь Ивановна<sup>(1)</sup>, Курганова Юлия Анатольевна<sup>(2)</sup>, Федорова Лилия Владимировна<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИМЕТ РАН

<sup>(2)</sup> доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

<sup>(3)</sup> доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

В настоящей работе исследовали влияние электромеханической обработки (ЭМО) и объемной доли армирующего наполнителя на структуру и свойства КМ.

Образцы КМ изготовлены литейным способом механического замешивания наполнителя в матричный расплавы. Матрицей служил сплав на основе алюминия - АК12М2МгН (в масс. %: Al- основа, 11-13 Si; 1,5–3,0 Cu; 0,8-1,3 Mg; 0,8–1,3 Ni; 0,3-0,6 Mn;  $\geq 0,05$ - 0,2Ti;  $\geq 0,8$  Fe). Армирующая фаза - частицы карбида кремния со средним размером 14 мкм, их объемную долю в расплаве изменяли от 3.8% до 15.5%. Температура при введении частиц расплава 750°C. Состав исследуемых образцов приведен в таблице.

Таблица. Объемная доля SiC в КМ

	№ образца			
	1	2	3	4
SiC, масс. %	-	3,8	7,7	15,5

Металлографическое исследование структуры образцов проводили на оптическом микроскопе Leica Meteor II. Видно удовлетворительное распределение частиц в матрице, состоящей из дендритов  $\alpha$ -Al, окруженных эвтектикой, в состав которой входят Al, Si и интерметаллидные фазы. Первичные частицы Si являются центром кристаллизации дендритов  $\alpha$ -Al. Химического воздействия между частицами и матричным расплавом при увеличениях оптического микроскопа не обнаружено, частицы SiC сохраняют свою оскольчатую форму.

Твердость образцов измеряли по Бринеллю на твердомере Wilson Wolpert 930N с нагрузкой  $p=62,5$  кг/см<sup>2</sup>, диаметр индентора  $d=2,5$  мм. Видно, что с увеличением содержания армирующей фазы твердость КМ возрастает с 116 НВ образец №1 – до 135 НВ образец №4 (т.е. твердость увеличилась почти на 20 НВ).

Испытания на сухое трение проводили на установке CETR UMT по схеме торцевого нагружения палец (контртело) по диску (КМ). Диаметр пальца -  $\varnothing 6.3$  мм, изготовлен из стали ШХ с твердостью 63HRC, диаметр диска из КМ - 40 мм, толщину - 7мм. Испытания проводили при пяти последовательных нагрузках 7Н, 11Н, 15Н, 19Н и 23Н. Длительность испытания при каждой нагрузке составляла 10 минут. В процессе испытания записывали график изменения коэффициента трения, после каждого испытания проводили взвешивание образцов и контртела для определения потери

массы. Интенсивность изнашивания рассчитывали по формулам  $I_m = \Delta m / L$ , где  $\Delta m$  - потеря массы при испытании,  $L$  - путь трения.

Из проведенных исследований видно, образцы КМ по сравнению с матричным сплавом имеет более низкие коэффициенты трения, особенно это заметно при больших нагрузках. Так при нагрузке 23Н коэффициенты трения составляют 0,34 (образец № 3) и 0,38 (образец № 1). Также показано, что КМ с большей объемной долей наполнителя имеют минимальную потерю массы, т.е. имеют более высокую износостойкость. По сравнению с исходными свойствами поверхности, ЭМО предположительно дает преимущество в виде повышения твердости.

Одним из методов оценки износа является профилографирование. В работе измерение проводится на приборе USB Профилограф-профилометре БВ-7669М в четырех местах для получения общей картины профиля образца, увеличение точности полученных данных и снижении возможной погрешности прибора. На исследуемом образце наносят отпечатки 2 и 3 (рис.1). Отпечатки выполняются на твердомере Виккерса по ГОСТ 2999-75 так, чтобы между отпечатками располагалась изнашиваемая поверхность, а глубина отпечатков превышала значение износа не более чем в два раза. Образец располагают таким образом, чтобы при острие иглы проходило через низшие точки отпечатков 2 и 3. W- значение износа.

На профилограмме наблюдаем на сколько изнашивается образец. Зная масштаб, рассчитываем объем изношенного материала; умножив на плотность образца, приводим к износу по массе.

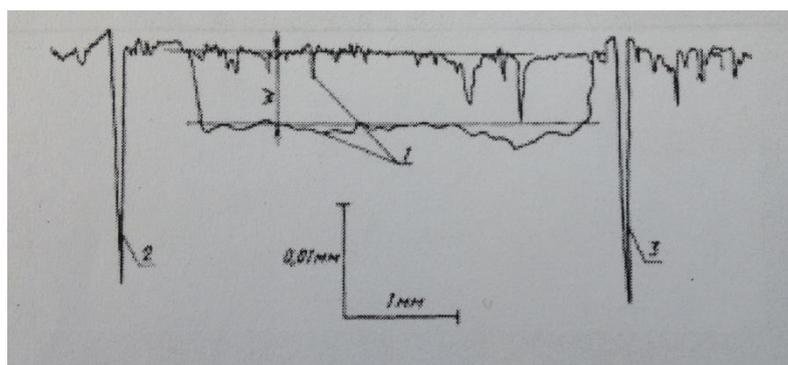


Рис. 1. Профилограмма рабочей поверхности до и после испытания

Проведенные исследования показали, что введение в алюминиевый сплав частиц SiC повышает твердость и триботехнические свойства. Не выявлено химическое взаимодействие между матричным расплавом и частицами SiC, которые равномерно распределяются в матрице. ЭМО при этом оказало положительное влияние на износостойкость исходных материалов.

### Литература

1. Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева, И.Е. Калашиников, Л.К. Болотова. Дискретно армированные композиционные материалы с матрицами из алюминиевых сплавов и их трибологические свойства. Металлы. 2001. №6, с.85-98.
2. Т.А. Чернышова, Ю.А.Курганова, Л.И. Кобелева, Л.К. Болотова. Литые дисперсно-упрочненные алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение.- Ульяновск: УлГТУ, 2012.-295с.
3. Чичинадзе А.В, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). Под общ. ред. Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 2003. - 576с.

## СТРУКТУРА, ФОРМИРУЮЩАЯСЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Эльдар Викторович Балакирев,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Материаловедение»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.О. Базалева,*  
*кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

В настоящее время отмечается возрастающий интерес к аддитивному производству. Эти методы дают возможность создавать деталь довольно сложной формы, «добавляя» материал только в тех местах, где это необходимо. Для получения таким способом деталей из металлов используют методы лазерной перекристаллизации порошка. Особенности технологии обеспечивают уникальные условия кристаллизации, а именно, высокие (порядка  $10^5 - 10^6$  °/с) скорости охлаждения из жидкого состояния позволяют получить принципиально новую по сравнению с наблюдаемой при традиционных обработках неравновесную структуру.

Известно, что в процессе лазерной перекристаллизации порошкового материала может формироваться ячеистая структура кристаллизации. В данной работе методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии, а также с помощью рентгеноструктурного и металлографического анализа исследованы особенности ячеистой структуры аустенитного сплава Fe-17%Cr-12%Ni-2%Mo-1%Mn-0.7%Si-0.02%C, полученного методом селективного лазерного плавления.

Методом просвечивающей электронной микроскопии установлено, что зона расплава состоит из фрагментов, разделенных высокоугловыми границами, а фрагменты, в свою очередь, из ячеек кристаллизации средним размером около 0.5 мкм. Границы этих ячеек представляют собой сплетения дислокаций, тогда как плотность дислокаций в «теле» ячеек заметно ниже. Анализ электронограммы показал, что после селективного лазерного плавления наблюдается структура подобная той, что формируется в процессе развитой пластической деформации.

Установлено, что микротвердость ячеистой структуры ( $HV_{0.05} = 265 \pm 5$ ) в 1.5 раза превышает ее значение для аустенитного сплава того же состава после закалки.

По сдвигу дифракционных максимумов оценены термические напряжения в образцах: они имеют разный знак в продольном и поперечном сечениях и по величине сопоставимы с пределом текучести сплава.

По уширению рентгеновских максимумов аустенитного твердого раствора произведена оценка плотности дислокаций и размера блока когерентного рассеяния сплава. Плотность дислокаций имеет порядок  $10^{12}$  см<sup>-2</sup>, а размер блоков когерентного рассеяния – 300 мкм.

С целью определения термической стабильности ячеистой структуры были проведены отжиги исследуемого сплава в интервале температур от 100°C до 1000°C в течение часа. Показано, что ячеистая структура сохраняется до температур отжига 700°C, далее ячейки постепенно исчезают, и при температуре 1160°C в структуре наблюдаются только зерна аустенитного твердого раствора, разделенные двойниками отжига.

Также показано, что со структурными изменениями коррелируют изменения значения микротвердости и уширения рентгеновских линий аустенитного твердого раствора: отжиг при 700°C приводит к постепенному снижению значения микротвердости, а параллельно уменьшается уширение рентгеновских линий аустенитного твердого раствора.

### Литература

1. Yadroitsev, Ph. Bertrand, B. Laget, I. Smurov “Application of laser assisted technologies for fabrication of functionally graded coatings and objects for the International Thermonuclear Experimental Reactor components”. Journal of nuclear materials 362(2007) 189-196/
2. Yadroitsev, A. Gusarov, I. Yadroitsava, I. Smurov “Single track formation in selective laser melting of metal powders “.Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 1624–1631

**УДК 620.186.5**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 35 И 40Х ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЗКОГО ОТПУСКА**

Софья Борисовна Варламова

*студент 6 курса,*

*кафедра «Материаловедение»,*

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

*Научный руководитель: Симонов В. Н.*

*Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

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. Метод деформирующего резания (ДР) может выступать альтернативой существующих технологий поверхностного упрочнения. Данный метод заключается в создании макрорельефа (единое ребро в виде непрерывной спирали) на наружных поверхностях обрабатываемого материала. Идея метода подробно описана в патенте 2044606 РФ <sup>[2]</sup>.

В данной работе использовались стали 35 и 40Х. Исходными заготовками являлись валы данных сталей в состоянии нормализации и обработанные методом ДР. На сталях 35 и 40Х была проведена экспериментальная работа по получению беззачерных упрочнённых макроструктур 2х типов: со сквозной и частичной закалкой ребра. Для подробного изучения были выбраны образцы со сквозной закалкой ребра. Электроэрозионным способом были вырезаны образцы в количестве 12 штук (6 штук из каждого вала) для дальнейшего изучения.

В работе [3] рассматривалось влияние различных температур отпуска на структуру и микротвердость стали 35. По полученным данным было установлено, что при температуре низкого отпуска 200°C наблюдается увеличение твердости по сравнению с исходным состоянием (закалки во время ДР). Так как явных изменений в структуре не было выявлено, в данной работе представлено более подробное изучение

влияния низких температур отпуска (от 100°C до 300°C с интервалом в 50°C) на структуру и твердость сталей. По одному образцу сталей 35 и 40Х оставили в исходном состоянии, для остальных была проведена термическая обработка при указанных выше температурах, выдержка составила 40 минут.

Следующим этапом работы была подготовка металлографических шлифов.

На оптическом микроскопе было проведено исследование микроструктуры полученных образцов. Микроструктуры представлены на рисунке 1. Далее образцы исследовались с помощью растровой микроскопии для более тщательного изучения структур.

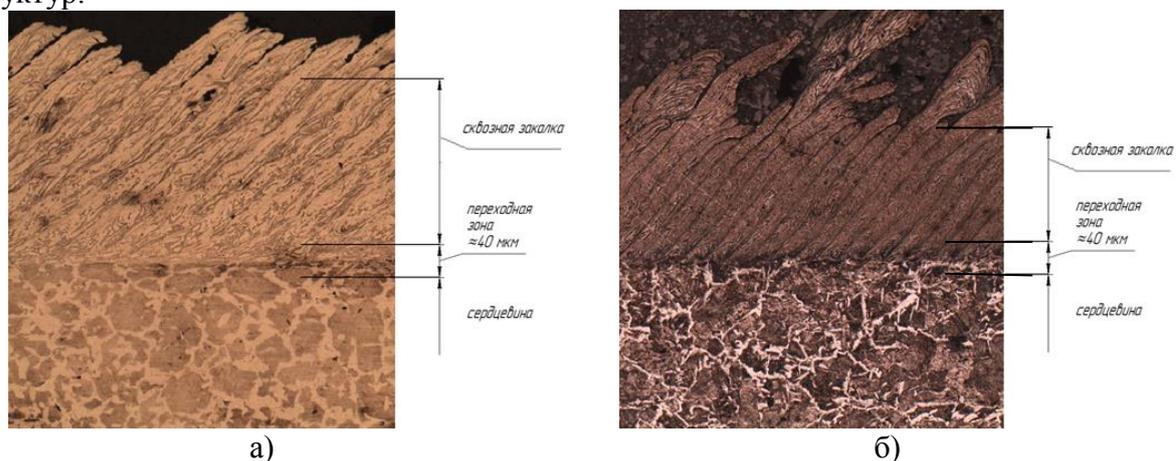


Рис 1. Варианты упрочнённых ребрѐнных структур со сквозной закалкой:  
а) сталь 35, б) сталь 40Х.

На каждом образце проводили измерение в количестве 100 отпечатков на произвольно выбранных рѐбрах на расстоянии 50 мкм от переходной зоны и до конца каждого ребра по точкам, отдаленным друг от друга по оси X на 100 мкм.

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

1. Варьируя параметры ДР возможно получение рѐбер с различным структурным состоянием;
2. Было установлено, что на сталях 35 и 40Х при температурах отпуска 100°C, 150°C не наблюдается падение твердости, а при температуре 200°C твердость имеет максимальное значение;
3. 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.

## Литература

1. Васильев С.Г., Поцзов В.В. Повышение твёрдости поверхности детали термическим воздействием с использованием деформирующего резания жур. Извумаш №12 2011.
2. 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. N 27, 1994.
3. Варламова С. Б., Дегтярева А. Г., Поцзов В. В. Влияние термической обработки на структуру и микротвердость стали 35 после обработки методом деформирующего резания / жур. Молодёжный Научно-технический вестник от 09.2014.

**УДК 669.174**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ХРОМИСТЫХ СТАЛЯХ**

Екатерина Владимировна Гонтарь  
*студентка 6 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. И. Плохих  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Технология термической обработки коррозионностойких сталей мартенситного класса предполагает проведение аустенитизации при температурах 1050 -1080 °С с целью растворения карбидной фазы и придания изделиям оптимальных эксплуатационных свойств после проведения полного цикла упрочняющей обработки. При этом между температурой обратного  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения и началом растворения находится температурный интервал, который составляет около 250 °С, наличие которого открывает возможность регулирования структурой стали находящейся в аустенитном состоянии.

Как известно, совместное протекание полиморфного  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения и структурной перекристаллизации свойственно неупорядоченному механизму образования аустенита, а при упорядоченном сдвиговом характере образования аустенита эти превращения могут не совпадать по температуре. При этом целенаправленным выбором предварительной термической обработки сталей можно получать различный аустенит имеющий либо фазонаклепанную либо полигонизованную, либо рекристаллизованную структуру, однако для этого необходимо провести детальный анализ процесса рекристаллизации фазонаклепанного аустенита в конкретных сталях.

В качестве основных объектов исследования были выбраны хромистые стали, которые отличались друг от друга количеством элементов участвующих в образование вторичных фаз. В работе, методом дифференциального дилатометрического анализа и оптической микроскопии, предполагалось изучить особенности структурной перекристаллизации этих сталей в зависимости от их исходного состояния. При этом основная задача исследования состояла в определении условий проявления эффекта структурной наследственности в зависимости от химического состава сталей и температуры аустенитизации.

**УДК 537.312.9**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДОЗИРОВАННЫХ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОКОНЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВТСП-ЛЕНТ**

Юрий Сергеевич Гулин  
*студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.П. Михайлов,  
доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник ИМЕТ РАН*

Актуальной научно-технической задачей является повышение токонесущей способности высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Такие материалы находят применение в различных отраслях новой техники [1,2]. Как показывает практика, токонесущая способность таких материалов сильно зависит от структурного состояния ВТСП-прослоек, основой которых является соединение  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{12+\delta}$ . Основным недостатком указанных материалов при повышении напряженности магнитного поля является снижение критических токов. Для избежания этого недостатка разрабатываются способы. [3,4]. Одним из таких способов является применение импульсного плазменного и механического воздействия (ударов по поверхности) ВТСП-лент. После ударно-механической обработки, требующей после себя проведения термообработок, не только повышается токонесущая способность, но и поддерживаются на уровне остальные не менее важные свойства этих материалов. Для использования этого метода необходимо оптимизировать количество ударов, их энергию, расстояние от источника воздействия.

В работе представлены результаты воздействия ударных импульсов плазменного источника мощностью 4 кДж и дозированных механических ударов с энергией от 0,5 до 3,45 Дж на структуру и сверхпроводящие свойства ВТСП-лент. В качестве объектов исследования использована ВТСП - лента, произведенная фирмой EAS-E HTS (VAC) (Германия). Изучено влияние условий нанесения ударов (количества ударов, расстояния от плазменного анода, энергии ударов) на плотность ВТСП прослоек, фазовый и химический составы и сверхпроводящие свойства лент (критические токи, полевые зависимости критического тока от напряженности магнитного поля, величину замороженного магнитного поля).

Результаты проведенных исследований показывают возможность повышения токонесущей способности ВТСП-лент при использовании указанных методов.

### **Литература**

1. *Б.П.Михайлов, А.Р. Кадырбаев, А.Б.Михайлова.* Современное состояние и перспективы разработки и применения сверхпроводников на основе ВТСП соединений // Журнал Функциональных Материалов, № 106.08, с.203 - 212.
2. *Б.П. Михайлов, А.И. Руднев, П.В. Бобин, А.Р. Кадырбаев, А.Б. Михайлова, С.В. Покровский.* Функциональные характеристики композита  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}/\text{ZrN}$ . //Письма в ЖЭТФ, 2006. Т. 32, вып. 20. с. 70-76.
3. *И.А. Руднев, Б.П. Михайлов, П.В. Бобин.* Намагниченность и критический ток высокотемпературных сверхпроводников с искусственными центрами пиннинга. //Письма в ЖТФ, 2005, том.31, вып.4, с.88-94.
4. *Б. П. Михайлов, Л. И. Иванов, В. Ф. Шамрай, В. Я. Никулин, Г. Н. Михайлова, В. И. Нижанковский, И. А. Руднев, П. В. Горшков.* Влияние импульсной высокоплотной плазмы на сверхпроводящие свойства многожильной  $\text{Bi}$ -2223 ленты //Перспективные материалы, 2009, № 6, С. 57-60.

## **ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ЗЕРКАЛ ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ.**

Виктория Денисовна Демина,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.В. Алексеев<sup>(1)</sup>, О.П. Баженова<sup>(2)</sup>, В.С. Крапошин<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> кандидат технических наук, ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»

<sup>(2)</sup> ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»

<sup>(3)</sup> доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Многие годы астрономы мечтали о том, чтобы поместить в космосе мощный телескоп. Ведь из космоса, где нет воздуха и пыли, звезды будут видны особенно отчетливо. В 1990 г. их мечта сбылась: Американский челнок (Шаттл) вывел на орбиту телескоп им. Хаббла. Не обошлось и без огорчений: вскоре выяснилось, что главное зеркало телескопа имеет дефект. Но в 1993 г. астронавты, добавив дополнительные линзы, исправили телескоп. С тех пор с его помощью на Земле было получено множество уникальных снимков небесных тел – планет, туманностей, квазаров, которые способствовали ряду открытий, пополнивших наши знания о Вселенной. С помощью космического телескопа им. Хаббла сделаны фотоснимки галактик, отдаленных от нас на 11 миллиардов световых лет.

Космический телескоп им. Хаббла планируется снять с орбиты в 2014 году. На замену ему на исследование Вселенной в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне (110 - 320 нм), недоступном для наблюдений с помощью наземных инструментов, будет направлен международный проект «Спектр-УФ» («Всемирная космическая обсерватория - ультрафиолет», ВКО-УФ). По возможностям проект ВКО-УФ аналогичен, а по некоторым характеристикам превосходит космический телескоп им. Хаббла.

В состав космического аппарата входит телескоп Т-170М - разрабатываемый крупный автоматический космический телескоп, который станет основным рабочим инструментом ВКО-УФ для работы в ультрафиолетовом участке электромагнитного спектра. Телескоп будет оснащён главным зеркалом диаметром 1,7 м, спектрографами высокого и низкого разрешения и камерами для построения высококачественных изображений в УФ и видимом диапазоне.

Как и в любой оптической системе, для её стабильной работы необходимо постоянство геометрических размеров каждого элемента. Поэтому зеркало для телескопа было решено изготовить из материала ситалл СО115 - стеклокристаллического материала со сверхнизким коэффициентом теплового расширения. Это идеальный материал для астрономических зеркал и других оптических деталей, в которых отсутствие изменений линейных размеров и формы поверхности при значительных изменениях температуры имеет важное значение. ТКЛР ситалла СО115 от -60 до +60°C равен  $(0 \pm 1,5) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Для еще большей стабильности температура зеркала будет поддерживаться постоянной с помощью нагревателя, расположенного под ним.

Главная задача, поставленная перед разработчиками,- и подбор материалов для изготовления нагревателя: нагревателю предстоит работать в вакууме, и непосредственно рядом с зеркалом. Последнее обстоятельство требует минимизировать газовыделение, иначе работа оптической системы будет невозможна.

В настоящей статье описан выбор материала для возможной конструкции нагревателя на металлической подложке из алюминиевого сплава, обладающего высокой теплопроводностью для равномерного распределения температурного поля. На металлическую подложку методом напыления в вакууме последовательно наносят тонкопленочные слои диэлектрика, токопроводящего слоя и окончательного диэлектрического слоя.

В работе будут использованы материалы с разной электропроводностью: металлы, полупроводники и диэлектрики. Вследствие высокой поляризуемости диэлектриков, они способны усиливать электрические поля. Переменный ток смещения может постоянно протекать по материалу, который является изолятором для постоянного тока.

Сопротивление металла увеличивается с ростом температуры вследствие термического рассеяния электронов. Сопротивление полупроводников и изоляторов снижается при повышении температуры в большей части всего температурного интервала.

Температурный коэффициент линейного расширения металлических проводников интересен в данной работе с точки зрения сопряженной работы различных материалов в конструкции нагревателя.

Нихром – сплав с низким температурным коэффициентом линейного расширения. И высоким удельным сопротивлением -  $1,12 \cdot 10^{-3}$  Ом·см. Температурный коэффициент электрического сопротивления,  $1,10 \cdot 10^{-5}$  1/°C.

Важнейшие усредненные физические характеристики металлов (при 20° С), применяемых в качестве проводниковых материалов в областях электротехники и радиоэлектроники, можно найти в справочнике [1].

Изоляционные материалы должны иметь низкие диэлектрические потери, высокую электрическую прочность. Материалы по возможности должны быть легкими, механически прочными, не бояться тряски, вибраций и ударных нагрузок с большими ускорениями. Они должны обеспечивать надежную эксплуатацию как при температурах 150...200°С (а иногда и выше), так и при -60...-80°С. Чередование многократных температурных циклов не должно вызывать их порчи.

В качестве диэлектрических пленок чаще всего в полупроводниковой электронике используются оксиды, например диоксиды кремния SiO<sub>2</sub>, алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и некоторых других металлов, а также нитрид и оксинитрид кремния Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>.

В табл. 1 приведены свойства наиболее часто используемых диэлектрических пленок.

Таблица № 3. Физико-химические свойства диэлектриков.

Диэлектрик напыленный	Удельное сопротивление Ом см	Электрическая прочность В/см	Относительная радиационная стойкость	Коэффициент термического расширения К <sup>-1</sup>
SiO <sub>2</sub>	10 <sup>15</sup> - 10 <sup>16</sup>	10 <sup>7</sup>	1	0,5·10 <sup>-6</sup>
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	10 <sup>15</sup> - 10 <sup>16</sup>	10 <sup>7</sup>	10	3·10 <sup>-6</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 <sup>14</sup> - 10 <sup>15</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	4·10 <sup>-6</sup>

Гексометил-дисилоксан	$2-5 \cdot 10^{15}$	$10^6$		
-----------------------	---------------------	--------	--	--

Напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением, а соответствующую напряженность поля – пробойной или электрической прочностью диэлектрика.

Так как изолирующий материал обычно используют для того, чтобы воспрепятствовать прохождению электричества, необходимо, чтобы пробой наступал при возможно более высоких полях. Величина такого критического поля характеризует электрическую прочность изолятора. Желательно знать, как поведет себя изолятор в весьма высоких полях (пробой) и в слабых переменных полях (диэлектрические свойства). Хороший изолятор не обязательно будет хорошим диэлектриком, и наоборот.

Проведем оценку конструктивных характеристик нагревателя. Рассеивающая мощность в нагревателе опытного образца равна 5 Вт, при напряжении 27 В. Тогда ток через нагреватель, который рассчитывается по формуле (1), равен  $I=5/27=0,185$  А, а сопротивление, по формуле (2), равно  $R=27/0,185=$  Ом.

$$I=W/U \quad (1)$$

$$R=U/I \quad (2)$$

где  $I$  – ток, проходящий через нагреватель;

$R$  – сопротивление нагревателя;

$U$  – напряжение.

Геометрические размеры нагревателя оценим из предположения, что опытный образец, имеющий 10·20 см, будет заполнен по площади наполовину, т.е. площадь нагревателя будет равна 100 см<sup>2</sup>. Исходя из того, что толщина нихрома не должна превышать 1 мкм, и что удельное сопротивление пленки нихрома не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$  Ом·см, определим ширину нагревателя. Приняв длину нагревателя равной 50 см, получим, что ширина меандра определится из выражения (3):

$$a = \frac{(\rho \cdot l)}{(R \cdot h)} \quad (3)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление;

$l$  – длина нагревателя;

$R$  – сопротивление нагревателя;

$h$  – толщина пленки нихрома.

Подставляя полученные значения определим, что ширина меандра (элемента сопротивления) равняется 7,5 см. Таким образом, при выбранной толщине пленки 1 мкм, соотношение длины к ширине равняется, примерно, 5 : 1.

Ниже описаны экспериментальные образцы нагревателей и измеренные значения сопротивления нагревательных элементов сопротивления изоляции при напряжениях 9, 100 и, в некоторых случаях, при 500 В. Испытано несколько вариантов структур. Фотографии изготовленных образцов приведены на рис. 1 - 10.

*Структура: подложка – АМгб, диэлектрик – глубоко анодированный слой подложки, токопровод – нихром.*

На образцах № 6, 7, 8 (рис. 1, 2, 3) изоляционные слои выращивали на алюминиевой подложке методом глубокого оксидирования. Размер каждого образца 60x50 мм, толщина 1,5 мм. Контакты к нагревательному элементу - нихром + медь, нагревательный элемент- нихром. Контакты паянные, достаточно прочные. В образце № 6 металл подложки полностью переведен в окисел алюминия, а в образцах 7 и 8 толщина изоляционного слоя не менее 200 мкм с каждой стороны . Все образцы

выдерживают пробивное напряжение 500 В, при этом сопротивление изоляции всех образцов более 1000 МОм. Сопротивление слоя нагревателя в образцах № 6 - 278 Ом, №7 - 63 Ом, №8 - 66 Ом.

*Структура: подложка - АМг6, диэлектрик - гексаметилдисилоксан, токопровод - нихром.*

Образцы 1, 9, 10 (рис. 4, 5, 6) - диэлектрические пленки, полученные методом вакуумной плазменной полимеризации имеют высокую электрическую прочность  $E_{пр}$   $10^6 - 10^7$  В/см. Для каждого «конденсатора» существуют три пороговые значения напряжения: напряжение первого пробоя  $U_0$ , максимальное значение пробоя  $U_{max}$  и минимальное значение напряжения  $U_{min}$ , которое устанавливается на конденсаторе после пробоя.

Напряжение первого пробоя  $U_0$  линейно зависит от толщины пленки. Первый пробой происходит в условиях неоднородного поля на «остриях» электродов, частиц пыли и неоднородных включений (при изготовлении системы металл - диэлектрик - металл).

$U_{max}$  не зависит от размеров электродов, его полярности и оно постоянно для нескольких сотен пробоев.  $U_{max}$  характеризует электрическую прочность диэлектрической пленки.

Напряжение  $U_{min}$  определяется постоянной времени цепи разряда конденсатора и длительностью процесса разрушения верхнего электрода.

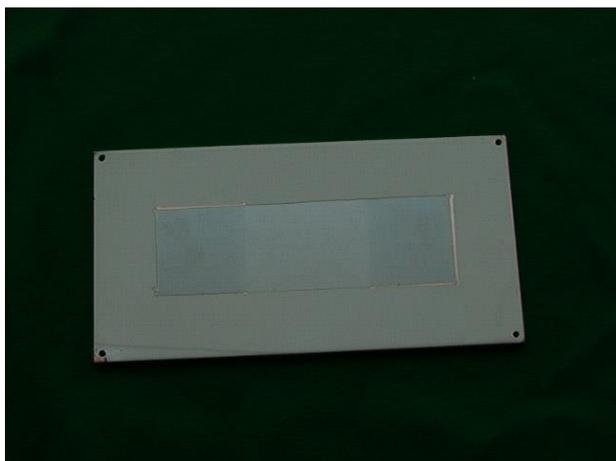


Рис.1. Образец № 6:



Рис.2. Образец № 7:

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Подложка – алюминиевый сплав АМг6, с верхним слоем, подвергнутым химическому травлению;</li><li>2. 1-ый диэлектрический слой – комбинированный: электрохимический окисел гексаметилдисилоксана + композит на основе оксида кремния;</li><li>3. Токопроводящий слой – нихром;</li><li>4. Контактные площадки – медь + нихром</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Подложка – алюминиевый сплав АМг6;</li><li>2. Диэлектрический слой – полимеризованный кремнийорганический лак К-85,;</li><li>3. Токопроводящий слой – нихром;</li><li>4. Контактные площадки – медь + нихром</li></ol> |
|--|---|

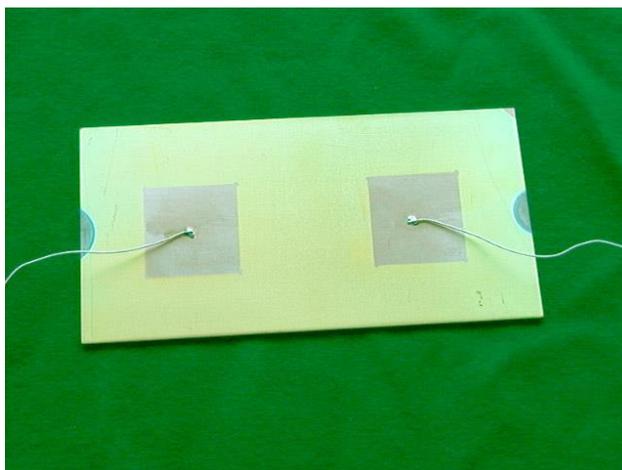


Рис.3. Образец № 8:

1. Подложка – титановый сплав, толщиной 1,5 мм;
2. 1-ый диэлектрический слой – вакуумнонапыленные чередующиеся слои оксидов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CrO}_2$  ;
3. Токопроводящего слоя – нет;
4. Контактные площадки – медь + нихром

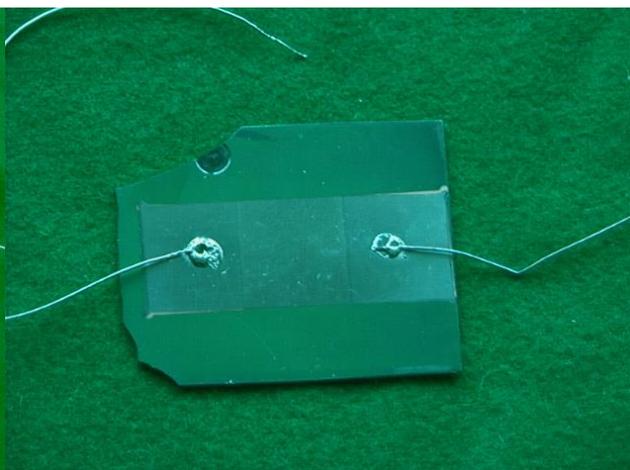


Рис.4. Образец № 1:

1. Подложка – алюминий;
2. 1-ый изоляционный слой – глубокая оксидировка поверхностного слоя, полностью переводящая материал подложки в окисел алюминия;
3. токопроводящий слой – нихром;
4. контактные площадки – медь + нихром

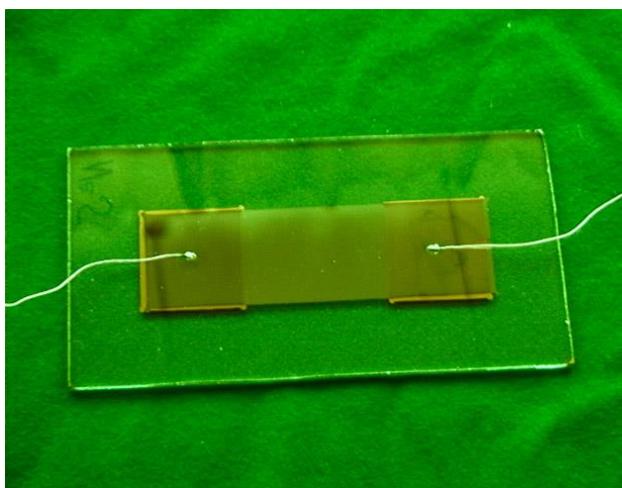


Рис.5. Образец № 9:

1. Подложка – стекло, выполняющая роль изолятора;
2. Токопроводящий слой – нихром;
3. Контактные площадки – медь + нихром.

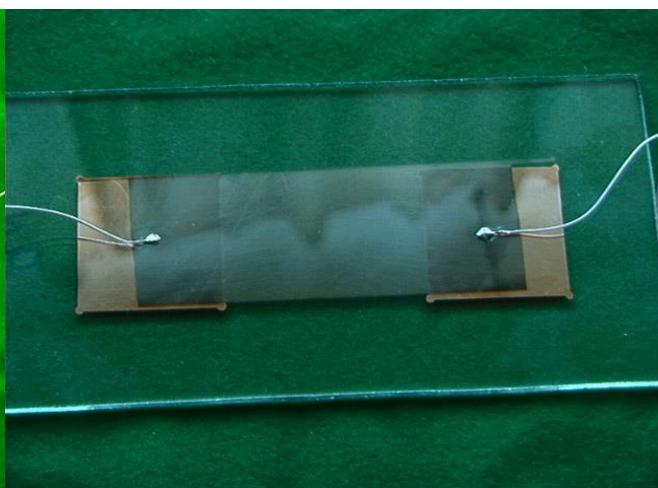


Рис.6. Образец № 10:

1. Подложка – стекло, выполняющая роль 1-го изолирующего слоя;
2. Токопроводящий слой – нихром;
3. Контактные площадки – медь + нихром.

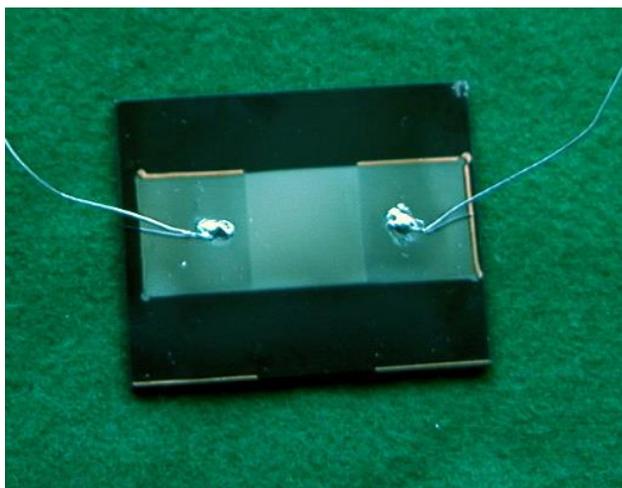


Рис.7. Образец № 2:

1. Подложка – алюминий толщиной 1,5 мм ;
2. 1-ый изоляционный слой – глубокое оксидирование подложки на глубину не менее 200 мкм с каждой стороны;
3. Токопроводящий слой (нагревательный элемент) – нихром;
4. Контактные площадки – медь + нихром.



Рис.9. Образец № 4:

1. Подложка – алюминиевый сплав АМг6;
2. Диэлектрический слой – гексаметилдисилоксан, осажденный в высокочастотной кислородной плазме, приобретающий после осаждения структуру модифицированных оксидов SiO<sub>2</sub>, толщина слоя 10-13

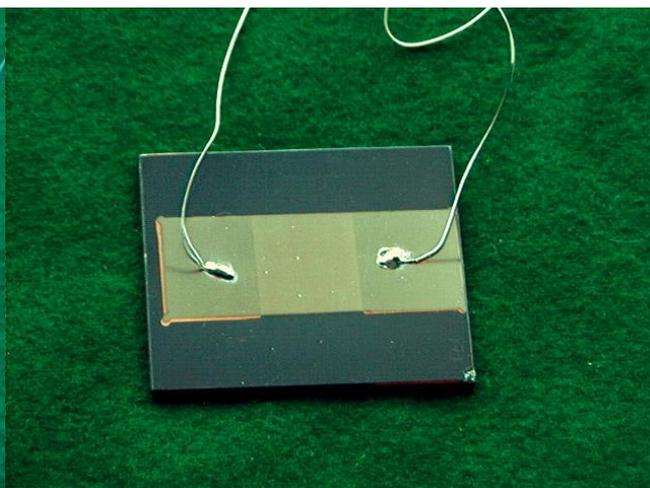


Рис.8. Образец № 3:

1. Подложка – алюминий толщиной 1,5 мм;
2. 1-ый изоляционный слой – глубокое оксидирование подложки (получение окисла алюминия толщиной не менее 200 мкм с каждой стороны)
3. Токопроводящий слой – нихром
4. Контактные площадки – медь + нихром



Рис.10. Образец № 5:

1. Подложка – алюминиевый сплав АМг6, толщиной 3,0 мм, предварительно подвергнутый химическому травлению;
2. 1-ый диэлектрический слой – комбинированный из слоя электрохимического окисла гексаметилдисилоксана + композит на основе оксида кремния;

- |  |   |
|--|---|
| <p>мкм;</p> <p>3. Токопроводящий слой – нихром;</p> <p>4. Контактные площадки – медь + нихром.</p> | <p>3. Токопроводящий слой – нихром;</p> <p>4. Контактные площадки – медь + нихром</p> |
|--|---|

Известно, что слои, полученные из мономера гексометилдисилоксана в высокочастотной кислородной плазме, приобретают структуру модифицированных окислов  $\text{SiO}_2$ . Эти материалы относятся к классу силиконов. Наличие кремния определяет повышенную нагревостойкость этих материалов. Высокие диэлектрические свойства кремнийорганических полимеров сохраняются при повышенных температурах. На подложку №1 из АМг6 был нанесен слой такого окисла толщиной порядка 10-13 мкм. В качестве контактных площадок использовалась структура нихром + медь, а в качестве нагревателя слой нихрома.

При контроле качества данного диэлектрика без напыления на него металлических слоев, сопротивление изоляции было порядка 500 МОм при подаче напряжения 100 В. После напыления контактных площадок размером 20·20 мм, сопротивление изоляции стало 30 МОм, при том же напряжении.

После припайки оловянным припоем сопротивление изоляции на одном из контактов стало равно нулю, т.е. произошло разрушение изоляции. Сопротивление слоя нагревателя (нихрома) равно 140 Ом. На данном покрытии плохо держатся металлические слои.

На предварительно протравленные подложки № 9 и № 10 из АМг6 были нанесены такие же слои комбинированного диэлектрического слоя электрохимического окисла + композит на основе оксида кремния, и на них напылен нагреватель из нихрома. Без припайки контактов этот образец при напряжении 500 В имел сопротивление изоляции более 1000 МОм.

*Структура: подложка АМг6, диэлектрик - полимеризованный кремнийорганический лак К-85, токопровод – нихром.*

Образец №2 (рис. 7) имел сопротивление нагревателя 215 Ом. Без напыления контактов сопротивление изоляции составляло порядка 500 МОм при напряжении 100 В. После припайки свинцово - оловянным припоем к контактам площадкам подводящих проводов произошло разрушение лакового слоя. Адгезия металла к лаковой пленке невысока.

*Структура: подложка титан, диэлектрик - вакуумнонапыленные чередующиеся слои оксидов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CrO}_2$ , контактные площадки – медь + нихром.*

В образце №3 (рис. 8) была сделана попытка использовать в качестве диэлектрика оксиды  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CrO}_2$ . Оба эти окисла широко используются в оптической и электронной промышленности и известны как очень стойкие и прочные материалы. В качестве подложки был использован титан, имеющий близкий к этим окислам коэффициент линейного расширения  $(80-95) \cdot 10^{-7}$ . Для создания слоя этих окислов толщиной в несколько микрон для исключения внутренних напряжений изолятор напыляли с чередованием тонких слоев (толщиной 0,1 мкм)  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CrO}_2$ . Всего было напылено 40 слоев, общей толщиной порядка 4 мкм.

В качестве контактных площадок использовалась структура: нихром + медь. Сопротивление изоляционного слоя между одной контактной площадкой и титановой пластиной было 3 кОм, для другой контактной площадки - 10 кОм. Механическая прочность припаянных проводников удовлетворительная. Сопротивление между контактными площадками по поверхности 60 кОм.

*Структура: подложка (как диэлектрик) – стекло, токопровод - нихром.*

При использовании диэлектрической подложки отпадает проблема создания надежного изоляционного слоя. Было изготовлено два образца № 4 (рис. 9) и № 5 (рис. 10). Механическая прочность паянных контактов достаточно надежная. Сопротивление слоя нагревателя образца № 4 - 190 Ом, а образца № 5 -175 Ом.

Результаты испытаний электрических характеристик опытных образцов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Испытания электрических характеристик опытных образцов нагревателей.

Номер образца	Описание структуры образца	Сопротивление нагревателя	Сопротивление изоляции		Прочность изоляции
			при 100 В	при 500 В	
№ 1	Подложка-АМгб, Диэлектрик - гексаметилдисилоксан, Токопровод - нихром	149,1 Ом	-	-	Пробой при 200 ÷ 300 В
№ 9	Подложка-АМгб, Диэлектрик - гексаметилдисилоксан + композит на основе SiO <sub>2</sub> , Токопровод - нихром	116,9 Ом	40 ÷ 50 МОм	500 МОм	Пробой при 400 В, Ток утечки > 10 мА
№ 10	Подложка-АМгб, Диэлектрик - гексаметилдисилоксан + композит на основе SiO <sub>2</sub> , Токопровод - нихром	135,8 Ом	-	500 ÷ 700 МОм	Пробой при 440 В, Ток утечки > 10 мА
№ 6	Подложка – Амгб, Диэлектрик – глубокая анодировка подложки (на данном образце металл подложки переведен в окисел полностью), Токопровод - нихром	299,5 Ом	40 ÷ 50 МОм	>500 МОм	Выдержали при 500 В 1 мин (пробоя нет)
№ 7	Подложка – Амгб, Диэлектрик – глубокая анодировка подложки (не менее 200 мкм с каждой стороны), Токопровод - нихром	63 Ом	40 ÷ 50 МОм	>500 МОм	Выдержали при 500 В 1 мин (пробоя нет)
№ 8	Подложка – Амгб, Диэлектрик – глубокая анодировка подложки (не менее 200 мкм с каждой стороны), Токопровод - нихром	67,4 Ом	40 ÷ 50 МОм	>500 МОм	Выдержали при 500 В 1 мин (пробоя нет); При 1000 В выдержал 0,5

					мин, далее пробой
№ 2	Подложка АМг6, Диэлектрик - полимеризованный кремнийорганический лак К-85, Токопровод - нихром	20 Ом	40 МОм	-	Выдержали при 500 В 1 мин (пробоя нет); Выдержали при 1000 В 1 мин (пробоя нет).
№ 3	Подложка титан, Диэлектрик - вакуумнонапыленные чередующиеся слои оксидов SiO <sub>2</sub> и CrO <sub>2</sub> , Контактные площадки – медь + нихром, токопровода нет	Нагревателя нет	Между одной площадк ой и подложк ой – 25 кОм; между второй и подложк ой - 13 кОм	-	-
№ 4	Подложка (как диэлектрик) – стекло, Токопровод - нихром	198, 6 Ом	-	-	-
№ 5	Подложка (как диэлектрик) – стекло, Токопровод - нихром	181,3 Ом	-	-	-

По результатам проведенных испытаний были сделаны следующие выводы:

- Подложка из АМг6 + оксид алюминия + нихром с технологией глубокого оксидирования позволяет получать надежные контактные площадки, при этом изолирующий слой не разрушается. При напряжении 500 В сопротивление изоляции было более 1000 МОм
- Структуры АМг6 + полимер + нихром и титан + кремнийорганический лак + нихром имеют тенденцию к разрушению изоляционного слоя при проведении пайки. Сопротивление изоляции после такой операции падает до нескольких мегаом. Причем сцепление слоя нихрома с данными полимерами гораздо хуже, чем у образцов с глубоким оксидированием.
- Структура титан + окислы кремния и циркония + нихром имели плохое сопротивление изоляции. По всей видимости, это вызвано недостаточным качеством обработки поверхности титановых пластин и малой толщиной слоя окисла (4 мкм). Паяные контакты имеют хорошую прочность.
- Структура стекло + нихром имеет прочные контакты, нет проблем, связанных с надежностью изоляции.

- В ближайшее время будут проведены исследования газовой выделения.

По расчетному сопротивлению (146 Ом) больше всего подходит образец 1 со структурой металлическая подложка из АМгб + мономер + нихром (сопротивление нагревателя 149 Ом), но эта структура имеет плохую электрическую прочность изоляции (пробой при 299-300 В). Структура образцов 7 и 8- металлическая подложка из АМгб + оксид алюминия + нихром, наоборот, имеет недостаточное сопротивление нагревателя (63-67 Ом), но зато отличную прочность изоляции (при выдержки 500 В 1 минуту пробоя нет). Поэтому было принято решение в дальнейшем исследовать образцы со структурой металлическая подложка из АМгб + оксид алюминия + мономер + нихром, т.е. будет произведено анодирование алюминиевой подложки (не глубокое ~ до 100 мкм) с запылением пор гексаметилдисилоксаном, а сверху будет напылен слой нихрома, верхний слой изоляции- мономер. Такая композиция должна иметь необходимое сопротивление нагревателя и высокую прочность изоляции.

### 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.
6. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. М.: Машгиз - 1962. -244 с.

**УДК 669.017.3:669.14.018.44**

### **КАРБИДНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ**

Елена Денисовна Демина,  
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»

Во многих легированных сталях давно обнаружены превращения зернограницных карбидов, например, цементита в тригональный карбид хрома [1]. При этом легированный хромом цементит  $(Fe,Cr)_3C$  не растворяется, а карбид хрома

$(Cr,Fe)_7C_3$  не зарождается вновь, и происходит непосредственное превращение карбида одного типа в другой, т.е. идет реакция  $(Fe,Cr)_3C \rightarrow (Cr,Fe)_7C_3$ . Такое карбидное превращение получило название превращение *in situ* («на месте»). Впоследствии обнаружены превращения тригонального карбида  $(Cr,Fe)_7C_3$  в карбид типа  $Me_{23}C_6$ . Например, в жаропрочном сплаве 0,5%С-26%Cr-33%Ni-2%Si-2%Nb после выдержки при температуре 1150°C длительностью 2 часа с последующим охлаждением в воде наблюдается протекание фазового перехода  $Cr_7C_3 \rightarrow Cr_{23}C_6$  в первичном эвтектическом карбиде хрома, причем скорость превращения при температуре 1150°C достаточно высокая. В связи с этим представляет интерес объяснение механизма такого превращения на основе анализа кристаллографических и кристаллохимических параметров исходной и образующейся фаз. Превращение это имеет характер кооперативного (мартенситного) типа, т.к. протекает без разрушения кристаллической решетки исходного карбида.

В настоящей работе структуры трех указанных карбидов представлены в виде сборки атомных кластеров. Оказалось, что в структуре  $(Fe,Cr)_3C$  и  $(Cr,Fe)_7C_3$  атомы углерода располагаются в центрах тригональных призм, и структуры этих карбидов различаются лишь порядком укладки этих призм. В структуре карбида  $Me_{23}C_6$  углерод расположен в центре скрученного куба (Архимедовой квадратной антипризмы). В работе найдены схемы реконструкции тригональной призмы в квадратную и изменения порядка укладки призм, объясняющие наблюдаемую цепочку карбидных превращений  $(Fe,Cr)_3C \rightarrow (Cr,Fe)_7C_3 \rightarrow Me_{23}C_6$ .

### Литература

1. Гудремон Э. Специальные стали. М.: Металлургиздат -1959. - Т.1. - 691 с.

УДК 62-65:62-69

### ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ЗЕРКАЛ ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ.

Виктория Денисовна Демина,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.В. Алексеев<sup>(1)</sup>, О.П. Баженова<sup>(2)</sup>, В.С. Крапошин<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> кандидат технических наук, ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»

<sup>(2)</sup> ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина»

<sup>(3)</sup> доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,

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°С) необходима температурная стабильность удельного сопротивления  $\rho$ , т.е. низкий температурный коэффициент ТК $\rho$ ;

- резистивный элемент должен иметь постоянные характеристики во времени;
- так как материал работает в вакууме, 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 + нихром;
- металлическая подложка из АМгб + мономер + нихром;
- металлическая подложка из титана + кремнийорганический лак + нихром;
- металлическая подложка из титана + оксиды кремния и циркония + нихром;
- стеклянная подложка + нихром.

В результате проведенных испытаний были получены и проанализированы электрические характеристики опытных образцов. Были сделаны выводы о необходимости продолжения изучения свойств образцов при различных комбинациях материалов, в том числе структуры: металлическая подложка из АМгб + оксид алюминия + мономер + нихром.

## Литература

1. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. Физические величины. Справочник 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.
6. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. М.: Машгиз - 1962. -244 с.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ И ИЗМЕНЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Александр Александрович Минаков,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Плохих,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время для изготовления инженерных конструкций и деталей машин, перспективным является использование многослойных металлических материалов. Преимущественно эти материалы обладают более высокими служебными характеристиками, которыми, в отличие от них, не обладают монометаллические материалы.

Использование технологии основанной на горячей прокатке композитных заготовок, позволяет получить структуру с субмикронной толщиной слоев в таких многослойных материалах [1]. Этот метод экономичен и высокоэффективен по сравнению с другими методами обработки давлением, как, например, горячее прессование. Однако получение материалов такого рода – это весьма сложная задача. Поэтому важно и актуально исследование структурных превращений в получаемых многослойных металлических материалах.

Объектами исследования были образцы многослойных материалов, которые изначально состояли из 100 чередующихся между собой слоёв различных сталей толщиной 0,5 мм, по 50 каждой марки. В работе были изучены следующие композиции сталей: а) 30ХГСА и 08Х18; б) У7Г и 08Х18. По разработанному ранее экспериментальному технологическому маршруту были получены заготовки листового сортамента толщиной 2 мм. Заготовки прошли по два полных технологических цикла. После завершения каждого технологического цикла из заготовок изготавливались образцы для проведения исследования структурных превращений.

Полученные после каждого технологического цикла образцы структуры материалов изучались двумя методами. На микроскопе «Neophot» - методом оптической микроскопии. На микроскопе VEGA TS5130 - методом электронной микроскопии в режиме энергодисперсионного анализа и в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении от 5 до 20 кВ.

Измерение твёрдости проводилось по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012-59. При испытании применялся шарик диаметром 2,5 мм, при усилии 1839 Н и продолжительности выдержки 30 с.

Полученные после прокатки образцы были подвергнуты циклическим нагревам в интервале температур от 300 до 1100 °С, с шагом 100 °С, с определением твердости после каждой выдержки в течении 1 часа. Полученные результаты показали влияние температуры прокатки на значения твердости образцов во всем интервале температур повторных нагревов, а так же на интенсивность изменения твердости в интервале температур высокого отпуска.

Результаты распределения легирующих элементов, полученные методом электронной микроскопии в режиме энергодисперсионного анализа, показали, что

после первого технологического цикла диффузия легирующих элементов, происходящая между слоями, была незначительной. После второго технологического цикла между слоями происходила активная диффузия хрома и марганца, что приводило к выравниванию концентраций этих элементов между слоями многослойной заготовки. Однако диффузия кремния протекала намного медленнее, и перераспределение между слоями было незначительно. Ещё большему выравниванию концентраций хрома и марганца способствовали циклические нагревы образцов прокатанных при высокой температуре.

### 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., Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. –2008. – №1. – С. 42–43.

УДК 620.197.6

### КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Ольга Глебовна Кириллова,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Тарасенко,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Российская авиационная техника (АТ) эксплуатируется в России и странах ближнего зарубежья во всеклиматических условиях. Анализ коррозионного состояния авиационной техники показывает, что на многих изделиях коррозии подвергаются детали пониженной коррозионной стойкости из углеродистых сталей. Для деталей, в том числе валов, отечественных газотурбинных двигателей (ГТД) традиционно применяются жаропрочные коррозионностойкие стали мартенситного класса с прочностью до 1200 МПа. В течение последних лет во ФГУП «ВИАМ» проведены исследования возможности применения для вала ГТД высокопрочной мартенситостареющей стали ВКС-170-ИД с прочностью свыше 1570 МПа. Сравнительные испытания в камере солевого тумана образцов из вышеуказанных сталей показали, что сталь ВКС-170-ИД не может быть применена без защиты от атмосферной коррозии, в том числе при рабочих температурах до 460 °С.

Наиболее широко применяемыми анодными покрытиями в авиационной промышленности являются гальванические цинковые и кадмиевые покрытия, а также плазменные алюминидные покрытия. Гальванические покрытия имеют ограничения по температуре эксплуатации (до 250 °С). Кроме того, технология нанесения как гальванических, так и плазменных покрытий связана с применением специального оборудования и требует повышенной квалификации обслуживающего персонала.

Поэтому разработка анодного металлсодержащего покрытия, лишённого недостатков вышеперечисленных покрытий и технологий их нанесения, является весьма актуальной.

Целью данной работы являлась разработка композиционного покрытия анодного по отношению к стали для защиты от коррозии деталей из углеродистых, в том числе высокопрочных сталей, эксплуатирующихся при температуре до 460 °С.

Состав для нанесения композиционного покрытия представляет собой суспензию металлического алюминиевого порошка в водном растворе алюмохромфосфатного связующего.

Перед нанесением защитного покрытия стальные образцы подвергали пескоструйной обработке электрокорундовым шлиф-порошком. Таким видом обработки достигается заданная адгезия.

Покрытие наносят методом пульверизационного распыления. Рекомендуются наносить покрытие в два слоя с термообработкой каждого слоя. Тепловую обработку проводят ступенчато: сначала сушат на воздухе, а затем прокаливают в воздушной печи при температуре 200 °С в течение 30-45 минут.

Покрытие обладает удовлетворительной адгезией к стали (не ниже 2 балла), что подтверждено испытаниями как методом нанесения параллельных надрезов, так и более жёстким методом нанесения сетки царапин, который применим для покрытий толщиной до 20 мкм. Отслаивания покрытия и сколов, в том числе в местах перекрестий, невооружённым взглядом не наблюдается.

Была определена водостойкость композиционного покрытия. При кипячении образцов с покрытием в дистиллированной воде в первый час происходит снижение массы образцов на 0,15-0,50 г/м<sup>2</sup> покрытия за счёт растворения неотверждённых компонентов суспензии. Дальнейшее кипячение образцов с покрытием в течение 5 ч не приводит к изменению их массы.

Для определения защитной способности композиционного покрытия на основе фосфатов были проведены сравнительные ускоренные коррозионные испытания в камере соляного тумана (КСТ-35) образцов с различными видами покрытий. Испытаниями в камере соляного тумана было показано, что композиционное покрытие обладает защитными свойствами – продукты коррозии стали не обнаружены в течение 2500 часов испытаний.

Натурные испытания в условиях приморской зоны умеренного тёплого климата под навесом в ГЦКИ и в условиях с умеренным климатом промышленной зоны на открытой площадке в МЦКИ образцов с покрытиями также подтвердили высокие защитные свойства композиционного покрытия. Испытания показали, что в течение 24 месяцев экспозиции на всех образцах наблюдается потускнение покрытия и плотный пылевой налёт, коррозионных повреждений стали не обнаружено.

В процессе нанесения композиционного покрытия практически не происходит наводороживание стальной основы, что позволяет применять данное покрытие на высокопрочных сталях без изменения их механических свойств.

Образцы из стали ВКС-170ИД с композиционным покрытием, испытанные на многоцикловую усталость (МнЦУ) при напряжении  $\sigma_{-1}=550$  МПа и температуре 460 °С и на длительную прочность при напряжении  $\sigma=824$  МПа и температуре 460 °С, простояли без разрушения более установленной базы испытаний 20 млн. циклов для МнЦУ и 100 ч для испытаний на длительную прочность.

Разработанное композиционное покрытие на основе фосфатов и алюминиевого порошка может быть применено для защиты от коррозии деталей из углеродистых сталей, в том числе высокопрочных, эксплуатирующихся во всеклиматических условиях, в том числе при повышенных температурах до 460 °С.

УДК 621.78.084

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ

Мария Сергеевна Косихина,  
студент 6 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: С.А. Пахомова<sup>(1)</sup>, А.Е. Смирнов<sup>(2)</sup>  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»  
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, неметаллических включений и различных полостей.

В шарикоподшипниковых сталях должен быть хром и высокое содержание углерода. Известно, что термическая обработка инструментальных сталей включает в себя три основных процесса: отжиг, закалку и отпуск.

Отжиг проводят для снижения твердости и подготовки структуры к закалке, которая необходима в целях достижения необходимой твердости. Цель отпуска – снять значительные остаточные напряжения, возникшие в процессе закаливания и предупредить образование трещин [1, 2]. Однако, такая технология не позволяет достичь максимальных свойств, которые требуются для всевозрастающих требований современного производства [3].

В целях улучшения структуры сталей и их механических свойств разрабатываются различные виды термической обработки. В настоящей работе предлагается исследовать влияние вакуумной термоциклической обработки на шарикоподшипниковые стали (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав сталей

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Mo	Cr	Ni	Cu
110X18M-ШД	1,10...1,12	0,50...1,00	0,53...0,93	0,50...0,80	16,50...18,00	≤0,30	≤0,30
95X18-Ш	0,90...1,00	≤0,70	≤0,80	-	17,00...19,00	-	-
60X13C-ШД	0,56...0,63	0,20...0,60	1,20...1,60	-	13,00...13,90	≤0,30	≤0,30
8X4B9Ф2-Ш*	0,70...0,80	≤0,4	≤0,4	≤0,3	4,0...4,6	≤0,35	≤0,35

\* W 8.50...9.50; V 1.40...1.70

Термоциклическая обработка (ТЦО) – вид термообработки, основанный на использовании циклических тепловых воздействий. Фазовые и структурные превращения при термоциклировании, в отличие от других видов термообработки, совершаются многократно во время изменения температуры нагрева-охлаждения. Была проведена высокотемпературная ТЦО при  $t = 950$  °С, количество циклов  $N = 3$ . Затем закалка при  $t = 1040$  °С + отпуск  $\tau = 4$  ч при  $t = 160$  °С.

Данная технология позволяет повысить твердость и прочность (табл. 2).

Таблица 2. Результаты измерения твердости образцов-свидетелей после различных операций термической обработки

Материал	Твердость <i>HRC</i> в разных состояниях		
	после закалки	после обработки холодом	после отпуска
110X18М-ШД	60,3	61,6	58,8
95X18-Ш	60,0	60,9	57,0
60X13С-ШД	58,8	59,9	58,3
8Х4В9Ф2-Ш	62,6	65,2	62,4

В результате ТЦО происходят следующие основные изменения: меняется структура, размеры и морфология карбидов; снижается уровень внутренних напряжений; измельчается и перераспределяется избыточная карбидная фаза.

#### **Выводы:**

Сплавы после ТЦО имеют повышенную ударную вязкость и высокую прочность благодаря формированию благоприятной структуры.

#### **Литература**

1. *Спектор А.Г., Зельбет Б.П., Киселева С.А.* Структура и свойства подшипниковых сталей. – М.: Металлургия, 1980. – 264 с.
2. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
3. *Тарасенко Л.В., Пахомова С.А., Унчикова М.В., Герасимов С.А.* Материаловедение. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 475 с.

**УДК 678. 7**

#### **ПОИСК НОВЫХ РЕШЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Антон Алексеевич Культин, Николай Владимирович Солунин,  
студенты 2 курса,  
кафедры «Автомобили», «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновского государственного технического университета

Научный руководитель: В. М. Никитенко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»

Еще несколько лет назад карбон как материал был довольно редок и мало известен из-за его трудоемкого способа изготовления и высокой цены. На сегодня, в силу развития технологий и поиска новых решений во многих отраслях промышленности он вышел на передовые позиции. Карбон – полимерный композиционный материал из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол. Он относится к классу углепластиков – материалов, объединяющих в себе несколько тысяч различных рецептур. Все эти материалы роднит одно – наполнителем в них являются углеродные (графитные) частицы, чешуйки и волокна (рис.1).



Рис.1 Схема переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол

Карбон настоящая находка для инженеров всего мира, но как и любой другой материал, он имеет и свои недостатки. Они заключаются в высокой цене покупки и содержания. Во-первых, углепластик - дорогостоящий материал. Правда, постепенно он дешевеет. Второй очевидный минус – сложность ремонта. Поврежденная при аварии деталь восстановлению не подлежит. Кроме того, есть такие "мелочи", как сложность ухода. Например, на солнце со временем карбон выцветает и может пожелтеть, а в местах контакта карбона с металлом в соленой среде металл быстро корродирует. Кроме того, карбон гораздо сложнее переработать, чем тот же алюминий.

Главная задача инженеров и технологов – устранить главный недостаток карбонового волокна, а именно снизить стоимость его производства. Данную задачу можно решить за счет расширения и модернизации производства, совершенствования технологии производства и сокращения отходов, за счет повторной переработки.

Сегодня из-за дороговизны производства карбон используют лишь производители, не стесняющиеся поднимать цену на свои товары, но в перспективе, с удешевлением производства, многие компании начнут использовать его в большем объеме, чем сейчас.

Перспективы и области применения этого материала практически безграничны.

Углеродные волокна карбона на растяжение также хороши, как сталь, но вот на сжатие ведут себя не лучшим образом, решением данной проблемы стало их сплетение в угле пластиковое волокно. При этом карбон легче, чем сталь на 40%, легче алюминия на 20% и, конечно же, легче чем пластик.

Карбон, собранный из углерода и кевларов, хоть и немного тяжелее, чем резина с углеродом, имеет намного большую прочность, а при ударах трескается, крошится, но не разбивается на части. Он выдерживает температуру 1600 градусов и является хорошим энергопоглостителем. Неокрашенный карбон потрясающе стильно и красиво выглядит, но под действием солнечных лучей он подвергается выцветанию и в последствии может поменять оттенок. Если, все-таки, деталь из карбона будет повреждена, то восстановлению она уже не подлежит, т.к. это просто невозможно и сломанную деталь придется менять полностью.

В основном из карбона изготавливают детали кузова автомобиля – это спойлеры, подкрылки, крылья, капоты, багажники, части крыши, зеркала, бамперы и многое другое. Карбон прочно прописался в сцеплении автомобилей, причём из угле волокна могут быть выполнены не только фрикционные накладки, но и сам диск сцепления.

Известны однодисковые и двухдисковые карбоновые сцепления.

Ещё одной областью применения карбона стали тормоза, вернее, тормозные диски. Дело в том, что автомобиль Ф-1 способен остановиться со скорости 300 км/ч всего за 4 секунды! Эти невероятные характеристики обеспечивают тормоза с дисками

из карбона, способные работать при высочайших температурах. Они выдерживают до 800 циклов нагрева за гонку. Каждый из них весит менее килограмма, тогда как стальной аналог как минимум в три раза тяжелее.

В повседневной жизни карбон можно увидеть где угодно - кроссовки, наушники, шлемы, корпуса телефонов, гитары, спиннинги, сумки, детали декора и т.д.

Новые материалы – это одно из важнейших направлений, определяющих развитие машиностроения. Мир получил в собственное распоряжение уникальный материал, обладающий высоким уровнем безопасности, отличными аэродинамическими показателями, да еще и легче стали и алюминия. А ведь такой облегченный автомобиль получает возможность дополнительно экономить топливо за счет использования менее мощного двигателя.

При создании новых изделий всегда становится целью - повышение эффективности и качества известных, существующих изделий: увеличение рабочих давлений, скорости температуры, снижения массы изделий, приходящейся на единицу создаваемой или передаваемой мощности.

Таким образом, если нужно изготовить легкую и прочную деталь, лучший материал – карбон. В лучших образцах техники реализуются последние достижения науки.

### Литература

1. *Кестельман В.Н.* Поликарбонат в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1974.

**УДК 621.74.043.2**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ТИКСОЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9 С ДОБАВЛЕНИЕМ МОДИФИКАТОРА TIN**

Руслан Сергеевич Лапин,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Материаловедение»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.Ю. Шевченко*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Тиксолитьё – один из способов придания нужной формы твердожидкому металлу. В процессе тиксолитья металлы и сплавы нагреваются до температуры перехода от твердого состояния к жидкому; здесь достигается тиксотропное состояние, при котором уменьшается вязкость материала. В ходе выполнения работы, были исследованы микроструктуры тиксозаготовок из сплава АК9, полученных в условиях процесса кристаллизации с электромагнитным перемешиванием расплава. Также была исследована возможность модифицирования сплава АК9 с помощью добавления в расплав частиц.

В таблице 1 представлен план эксперимента.

Таблица 1. План первого эксперимента

№	Номер	Температура	Ток	Направление
---	-------	-------------	-----	-------------

	отливки	разливки T , °C	вращателя, А	вращения
1	0-1	750	500	Без перемешивания
2	1-1	700	500	Вверх
3	1-2	700	500	Вниз
4	1-3	650	300	Вниз
5	1-4	700	300	Вверх
6	1-5	650	500	Вверх

Анализ результатов эксперимента показал, что структура по слитку примерно одинакова, а именно – электромагнитное перемешивание не привело к существенному изменению размера зерна и фактора формы в центре слитка и у поверхности отливки. Кроме того, интенсивное перемешивание привело к образованию пор в центральной части отливок. Следовательно, необходимо уменьшить интенсивность перемешивания при разливке сплава.

На рис. 1 приведены микроструктуры отливок, полученных с добавлением модификатора – частиц нитрида титана размером 10 мкм в количестве 0,5 % по массе в связке из сахарозы. Предварительно были приготовлены гранулы, содержащие модификатор, следующим способом: в сироп из воды и сахарозы добавляли навеску порошка TiN, затем проводили высушивание полученной смеси в печи при 200 °C в течение 1 часа. Полученную твердую массу измельчали на кусочки размерами 3-5 мм.

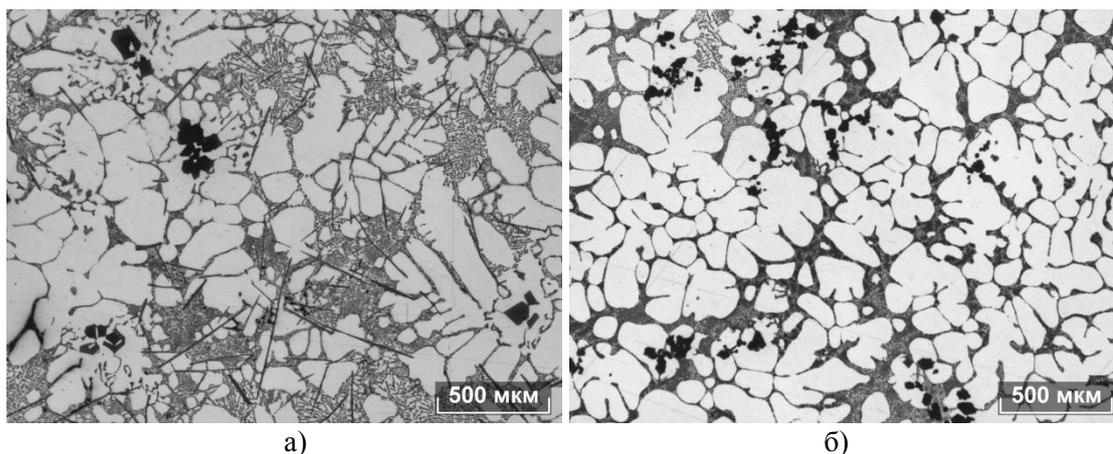


Рис. 1. Микроструктуры образцов сплава АК9 с модификатором TiN, введенным двумя способами:

- а) засыпанием модификатора вместе со струей расплава, б) засыпанием модификатора на дно тигля перед заливкой

Использование TiN в связке из сахарозы в качестве модификатора не привело к заметному повышению глобулярности структуры. Необходимо использовать другие методы введения модификатора в расплав.

### Литература

1. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 223 с.

2. S.W. Oh, J.W. Bae, C.G. Kang. Effect of Electromagnetic Stirring Conditions on Grain Size Characteristics of Wrought Aluminium for Rheo-forging // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2008. – Vol. 17. – P. 57-63.
3. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.

УДК 621.793.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ-ФОСФОР (Ni-P) И НИКЕЛЬ-БОР (Ni-B)

Кирилл Андреевич Лещёв,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Помельникова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

В настоящее время в промышленности для повышения твёрдости и износостойкости деталей (например, штоков, цилиндров, поршней, валиков, золотников и др.) из различных конструкционных материалов, используют электролитическое хромирование, которое позволяет увеличить сопротивление деталей механическому износу в 5-10 раз. Однако из-за выделений соединений шестивалентного хрома это покрытие не выдерживает требования по экологичности, что вызывает необходимость разработки других покрытий.

Механизм процесса химического никелирования очень сложен. Согласно последним исследованиям, механизм реакций при химическом никелировании носит стадийный характер [1].

Изучен механизм процесса химического никелирования. Исследованы микротвёрдость, пористость и микроструктура покрытий Ni-B и Ni-P в зависимости от способов обработки поверхности, толщины покрытий, режима термической обработки (температуры и времени отжига).

Исследования проводились на образцах из стали 30ХГСА.

После шлифования и полирования с пескоструйной обработкой микротвёрдость определяли с помощью цифрового микротвердомера DM8 фирмы Affri (№ 5296) на стали 30ХГСА.

Пористость определяли по ГОСТ 9.303-84 [2].

Микроструктуру покрытий исследовали с помощью метода растровой электронной-микроскопии.

Исследование проводили на десяти образцах различной толщины (15-40 мкм). Подготовку образцов проводили на оборудовании металлографического центра фирмы Струерс. Образцы запрессовывали на установке «Laborpress-3» в токопроводящую обойму. Для приготовления микрошлифов использовали шлифовально-полировальный станок «RotoPol-21». Электронномикроскопический анализ (РЭМ) проводили с помощью растрового электронного микроскопа JSM-840 (производство фирмы Jeol, Япония).

В таблице 1 приведены значения микротвёрдости покрытий Ni-B и Ni-P (Ni-B-покрытие наносилось из электролита, содержащего (г/л): NiCl<sub>2</sub> – 30, NaOH – 40, NaBH<sub>4</sub> – 1, сегнетова соль – 25, этилендиамин – 20, тиомочевина – 0.0015. Ni-P-покрытие

наносилось из электролита, содержащего (г/л): NiSO<sub>4</sub> – 20, NaCH<sub>3</sub>COO – 10, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> – 10, тиомочевина – 0,002).

Таблица 1. Влияние способа обработки поверхности стали 30ХГСА, толщины и режима термической обработки на микротвёрдость покрытий Ni–В и Ni–Р

Способ обработки поверхности стали	Толщина покрытия, мкм	Режим термо-обработки (ТО)	Микротвёрдость Ni–В-покрытия		Микротвёрдость Ni–Р-покрытия	
			по Виккерсу HV <sub>25</sub> *	МПа	по Виккерсу HV <sub>25</sub> *	МПа
Шлифование	15	Без ТО	735	7210	594	5827
		300°С, 1 ч	1128	11066	939	9212
	25	Без ТО	742	7279	628	6161
		300°С, 1 ч	1159	11370	916	8986
Шлифование + пескоструйная обработка	15	Без ТО	732	7181	604	5925
		300°С, 1 ч	1073	10526	878	8613
		350°С, 1 ч	1043	10232	983	9643
		400°С, 1 ч	958	9398	926	9084
	25	Без ТО	738	7240	604	5925
		300°С, 1 ч	1042	10222	857	8407

Из таблицы 1 следует, что состояние поверхности, толщины покрытия, температура термической обработки оказывает влияние на микротвёрдость.

Было проведено исследование влияние способа обработки поверхности, толщины химических покрытий и режима термической обработки покрытий никель-бор и никель-фосфор на их пористость.

Полученные данные свидетельствуют о незначительной пористости Ni–Р-покрытия на шлифованной и опескоструенной поверхностях. В тоже время пористость Ni–В-покрытия выше пористости Ni–Р-покрытия и уменьшается с увеличением толщины на шлифованной поверхности и на обдутой электрокорундом.

Проведение термической обработки при температуре 300 °С в течение одного часа незначительно уменьшает пористость Ni–В и Ni–Р покрытий. Термическая обработка при температурах 350, 400 °С в течение одного часа наоборот приводит к незначительному увеличению пористости Ni–В и Ni–Р покрытий на опескоструенной поверхности.

Исследование микроструктуры показало, что покрытия имеет хорошее сцепление с основным материалом, четко повторяют рельеф основного металла и сохраняют толщину на всей протяженности шлифа.

На поверхности покрытия встречаются поры, которые располагаются в верхней части слоя.

Таким образом, проведенная работа позволила установить, что покрытия Ni–В и Ni–Р могут быть использованы вместо хромирования.

### Литература

1. Вансовская К.М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / Под ред. П.М. Вячеславова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение. 1985. 103 с.
2. ГОСТ 9.303-84 Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору.

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СВАРНЫХ ТОНКОЛИСТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Любовь Николаевна Мищук,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технического университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Пучков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

При сварке тонколистовых конструкций возникает особый тепловой режим нагрева и охлаждения шва и околошовной зоны. Повышенная скорость нагрева и охлаждения являются причинами образования трещин в тонколистовых сварных конструкциях из алюминиевых сплавов. Образование трещин в этом случае возможно даже в случае применения лазерной сварки, отличающейся низким тепловложением и позволяющей получать узкие сварные швы, при кристаллизации которых усадка и возникающие в шве и околошовной зоне растягивающие напряжения минимальны [1].

Целью данной работы является исследование причин и природы возникающих трещин в тонколистовых сварных соединениях из алюминиевых сплавов при лазерной сварке.

Материалом сварных конструкций служили листы толщиной от 1 до 3 мм из алюминиевых сплавов АМц, АМг3, АМг6, АСВ-1. Сварные соединения в виде тавра, тавра на шипах, уголка, уголка на шипах, крестовины были получены, применяя автоматизированную лазерную установку LRS-300AU, рабочим инструментом которой является сфокусированный луч импульсного твердотельного лазера, работающего в режиме свободной генерации. Соединения в виде тавра на шипах, уголка получены односторонней сваркой; тавра - двухсторонней сваркой, а крестовины – четырехсторонней сваркой, т.е. сварные соединения в ряде случаев подвергались как минимум двухкратному нагреву и охлаждению. Полученные образцы исследовали металлографическим, дюротометрическим и фрактографическим методами с применением микроскопа Olympus GX51, микротвердомера DuraScan и сканирующего микроскопа TESCAN VEGA 2 LMH.

В процессе исследования макро и микроструктуры в отдельных сварных соединениях обнаружены трещины. Трещины имели преимущественно продольный характер и распространялись по границам кристаллитов, на которых в зависимости от степени легированности сплава и условий охлаждения образуется сетка из хрупкой интерметаллидной фазы различной толщины [2]. Из исследованных сплавов самую высокую склонность к образованию трещин показал наиболее легированный сплав АМг6, самую низкую – наименее легированный сплав АМц. Сплавы АМг3 и АСВ-1 имеют приблизительно одинаковую стойкость к образованию трещин. Были выявлены преимущественно горячие ликвационные трещины, которые образуются преимущественно в соединениях, получаемых многопроходной сваркой, когда швы разделены тонким листом металла. Растрескивается шов, полученный на первом проходе.

Образование трещин в зоне термического влияния также возможно из-за укрупнения зерен, образующихся в результате протекания собирательной

рекристаллизации, развивающейся при повышенной температуре в пластически деформированном металле зоны термического влияния.

Показано также, что большое влияние на качество сварного соединения оказывает выбор режима сварки, чистота поверхности (наличие оксидных пленок на поверхности свариваемого металла), жесткость соединения, чистота и режим подачи инертного газа.

### Литература

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
2. Шиганов И. Н., Холопов А. А., Лазерная сварка алюминиевых сплавов. // Научно-технический журнал «Фотоника». – 2010. – № 3. – С. 3–35.

УДК 669.715

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО ТИПА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg-Ca

Ольга Владимировна Онищук,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е. А. Наумова

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время алюминиевые сплавы получили широкое применение благодаря ценному для техники комплексу механических, физических, коррозионных свойств, высокой технологичности, а также благодаря значительным природным запасам алюминия.

Повышение комплекса свойств промышленных алюминиевых сплавов является актуальной задачей. Одним из перспективных направлений исследований является получение структуры КМ (композиционных материалов) на алюминиевой основе с разными алюминидами (подобную той, которая характерна для порошковой и гранульной технологий) с использованием простых технологических процессов. Для этого требуется найти эвтектики, которые удовлетворяют следующим требованиям: 1) дисперсное строение в литом состоянии, 2) высокая объемная доля алюминида, 3) его способность к сфероидизации при отжиге без огрубления. Для нахождения таких эвтектик требуется анализ (в том числе и количественный) многокомпонентных фазовых диаграмм с доступными эвтектикообразующими элементами.

Одним из перспективных направлений представляется создание принципиально новых систем легирования, в которых определяющая роль отводится кальцию, который, как и кремний, образует с алюминием диаграмму эвтектического типа. По содержанию в земной коре (3,6 масс. %) кальций занимает 3 место среди всех металлов, уступая только алюминию и железу.

Особое место среди материалов конструкционного назначения занимают высокопрочные сплавы. Наиболее прочные промышленные алюминиевые сплавы разработаны на базе системы Al-Zn-Mg-Cu (7xxx серия: AA7075, 7055, 7085 и др.), в

которых суммарное содержание цинка, магния и меди достигает 12–13 масс.%. Однако из-за малого количества эвтектики все сплавы 7xxx серии имеют низкие литейные свойства, что препятствует их применению для получения фасонных отливок достаточно сложной формы, хотя такие попытки неоднократно предпринимались. С другой стороны, в работах [2,3] было показано, что в сплавах эвтектического типа, в частности, на базе системы Al–Zn–Mg–Ni, можно получить сочетание высоких механических свойств и хорошей технологичности при литье. Целесообразно рассмотреть сплавы системы Al–Zn–Mg, с добавлением эвтектикообразующего кальция вместо дорогостоящего никеля.

На первом этапе работы исследовали двойные сплавы системы Al–Ca. Сплавы эвтектического состава находятся в области между 7 и 8 % Ca. Сплавы эвтектического состава отжигали по разным режимам - от 450 до 600 °С, с выдержками по 3 часа на каждой ступени. При температурах свыше 500 °С, наблюдалась заметная фрагментация частиц эвтектических фаз, а ближе к 600 °С их коагуляция. Значения твердости, при этом, закономерно падают от 100 НВ в литом состоянии до 60 НВ в отожженном при 600 °С. Исследование двойных сплавов показало, что эвтектика (Al)+Al<sub>4</sub>Ca в достаточной мере дисперсна и способна к заметному формоизменению при отжиге.

Следующим этапом работы было исследование сплава Al - 7,9 % Zn - 2,6 % Mg - 3,5 % Ca. Выбор экспериментального состава был основан на данных работы [5] Твердость сплава в литом состоянии заметно выше, чем у двойного за счет того, что алюминиевый твердый раствор упрочнен Zn и Mg. При отжигах от 450 до 560 °С эвтектические фазы фрагментируют и коагулируют, но заметного уменьшения твердости не наблюдается.

Для исследования влияния режимов старения на твердость сплава Al - 7,9 % Zn - 2,6 % Mg - 3,5 % Ca, он был закален с 540 С (выдержка 3 часа). После закалки его твердость составила 90 НВ. Выдержки при старении варьировались от 100 С до 240 °С. Максимальные значения твердости были достигнуты после старения при 160 °С в течение 3 часов. Она составила около 153 НВ. После выдержек при более высоких температурах происходит существенное разупрочнение, что обусловлено огрублением вторичных выделений фазы Al<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Zn<sub>2</sub>.

## 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. *Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов - М.: МИСиС, 2005, 376 с.*
3. *Белов Н.А., Золоторевский В.С. Литейные сплавы на основе алюминивно-никелевой эвтектики (никалины) как возможная альтернатива силуминам // Цветные металлы, 2003, №2, С.99-105.*
4. *Е.А. Наумова. Исследование структуры и свойств жаропрочных литейных сплавов на основе системы алюминий-церий // Технология легких сплавов, №1, 2001 г.*
5. *Н.А.Белов. Высокопрочный сплав на основе алюминия с добавкой кальция. Патент РФ № 2478132, публ. 27.03.2013, бюл.№ 9.*

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛИГАТУР ДЛЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Ni<sub>3</sub>Al

Татьяна Алексеевна Поваляева,  
студент 5 курса  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: М.В. Унчикова<sup>(1)</sup>, О.А. Базылева<sup>(2)</sup>,  
<sup>(1)</sup> кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>(2)</sup> кандидат технических наук, начальник сектора ФГУП ВИАМ

Интерметаллидные сплавы на основе Ni<sub>3</sub>Al типа ВКНА являются естественными эвтектическими термостабильными композиционными материалами, рабочие температуры которых выше, чем у никелевых суперсплавов. Фазовый состав сплавов ВКНА соответствует эвтектическому Ni<sub>3</sub>Al -  $\gamma'$ -фаза + (10-15) об. %  $\gamma$  – твердый раствор на основе никеля и практически не меняется при нагреве вплоть до температуры солидус, в то время как разупрочнение никелевых суперсплавов происходит вследствие растворения упрочняющей  $\gamma'$ - фазы.

Одним из способов повышения сопротивления ползучести и долговечности в сплавах типа ВКНА является формирование кристаллографической текстуры и уменьшение протяженности поперечных границ при переходе от поликристаллической структуры с равноосными зернами к столбчатой дендритной структуре и далее монокристаллической структуре. Максимальным уровнем прочностных свойств обладают интерметаллидные сплавы с кристаллографической ориентацией  $\langle 111 \rangle$  [1].

Однако резервы, заложенные в эвтектических композициях еще не исчерпаны, в связи с чем проводятся работы по увеличению долговечности сплавов за счет легирования редкоземельными металлами (РЗМ), являющимися реакционно- и поверхностно-активными элементами. В настоящее время изучено влияние лантана, иттрия и церия. Установлено [2, 3, 4], что при их введении изменяется структура сплавов, повышаются эксплуатационные характеристики, такие как жаростойкость и длительная прочность. РЗМ, обладая высоким сродством к кислороду, сере, азоту оказывают рафинирующее воздействие при выплавке, уменьшая содержание оксидов, сульфидов, нитридов, которые являются концентраторами напряжений и инициируют зарождение трещин в условиях эксплуатации. С другой стороны РЗМ, как поверхностно активные элементы упрочняют границы зерен и повышают структурно-фазовую стабильность сплавов. Однако повышенное содержание лантана, иттрия, церия приводит к образованию легкоплавких фаз, которые отрицательно влияют на свойства сплавов, поэтому для рафинирования ВКНА были выбраны другие РЗМ, такие как празеодим, неодим, эрбий. Выбор этих РЗМ обусловлен тем, что давление упругости паров у них выше, чем у лантана, церия и иттрия, и сродство их к примесям кислорода, серы и азота высокое, что обеспечивает ультранизкое содержание последних.

Целью данной работы является разработка составов лигатур на основе празеодима, неодима, эрбия и технологий их изготовления.

Химический состав лигатуры, который должен обеспечивать образование тугоплавких соединений никеля и РЗМ для лучшего усвоения элементов в сплаве, а

также температуры плавления лигатуры выбирали по диаграммам состояния: Ni-Er, Ni-Nd, Ni-Pr. Образцы лигатур в виде литых прутковых заготовок изготавливали на вакуумной индукционной установке УППФ-УМ.

Проведены исследования химического состава образцов лигатуры. Содержание серы, кислорода и азота определяли на газоанализаторе LECO. По результатам исследований было установлено, что технологические режимы выплавки экспериментальных образцов лигатур РЗМ позволяют получить металл высокого качества. Содержание газовых примесей в образцах находится в пределах нормы для лигатур РЗМ и не окажет неблагоприятного воздействия на выплавляемый с их применением сплав на основе интерметаллида никеля.

По содержанию элементов, которое изучали методом атомно-эмиссионной спектроскопии на установке Varian 730 ES с аксиальным обзором плазмы, была определена степень усвоения РЗМ в экспериментальных образцах лигатур. Установлено, что празеодим, неодим и эрбий усваиваются в лигатуре на 96-98 %.

По результатам исследования были выбраны составы лигатур РЗМ: Ni - (35-38 % масс.) Pr, Ni - (33-35 % масс.) Nd, Ni - (33-35 % масс.) Er, определены технологические режимы изготовления лигатур РЗМ заданных составов, получены данные по степени усвоения РЗМ в лигатуре.

### Литература

1. Колобов Ю.Р., Каблов Е.Н., Козлов Э.В. и др. Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением. /Под научной редакцией Е.Н. Каблова и Ю.Р. Колобова. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2008, С.20-43, 202-209.
2. Базылева О.А., Поварова К.Б., Казанская Н.К., Дроздов А.А. Редкоземельные металлы в сплавах на основе алюминиды никеля. III. Структура и свойства многокомпонентных сплавов на основе Ni<sub>3</sub>Al // Металлы, 2009, № 2, С.69-76
3. Поварова К.Б., Казанская Н.К., Дроздов А.А. и др. Изучение влияния редкоземельных металлов на жаропрочность сплавов на основе Ni<sub>3</sub>Al // Металлы, 2011, № 1, С.55-63.
4. Сидоров В.В., Тимофеева О.Б., Калицев В.А., Горюнов А.В. Влияние микролегирования РЗМ на свойства и структурно-фазовые превращения в интерметаллидном сплаве ВКНА-25-ВИ // Авиационные материалы и технологии, 2012, № 4, С.8-13.

УДК 621.785.52

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НА СТРУКТУРУ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕПЛОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Герман Сергеевич Севальнев,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е. Смирнов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

В настоящее время в авиационном машиностроении активно используются комплексно-легированные теплостойкие стали для ответственных деталей, таких как шестерни газотурбинных двигателей, подвергающиеся высоким нагрузкам и скоростям скольжения. Для таких деталей необходимо повышать основополагающие свойства, определяющие работоспособность (контактная выносливость, износостойкость, сопротивление усталостному разрушению при изгибе и заедании). Основным способом, повышающим данные характеристики, является вакуумная цементация. На насыщенной поверхности деталей образуется развитая карбидная фаза сложного состава (цементит и специальные карбиды).

Целью данной работы является исследование влияния тепловой пластической деформации (ТПД) на параметры диффузионных слоев после вакуумной цементации. Исследование проводили на теплостойких сталях ВКС-7(16Х2Н3ФБАЮ-Ш) и ВКС-10(13Х3Н3М2ВФБ-Ш).

Основными задачами, которые необходимо решить, являются:

- 1) оценка влияния режимов тепловой пластической деформации на плотность дислокаций;
- 2) исследования параметров микроструктуры (размера зерна, текстуры) в зависимости от режимов тепловой пластической деформации;
- 3) исследования влияния предварительной тепловой пластической деформации на распределение углерода и карбидов легирующих элементов по толщине диффузионного слоя после вакуумной цементации по различным режимам;
- 4) расчет коэффициентов диффузии углерода и легирующих элементов после вакуумной цементации с предварительной тепловой пластической деформацией

Для исследования текстуры и размера зерна, образцы шлифовали, полировали и травили в реактиве «Марбле». Разработаны методики для:

- определения плотности дислокаций методом рентгеноструктурного анализа;
- исследования распределения углерода и карбидообразующих легирующих элементов по толщине диффузионного слоя после вакуумной цементации.

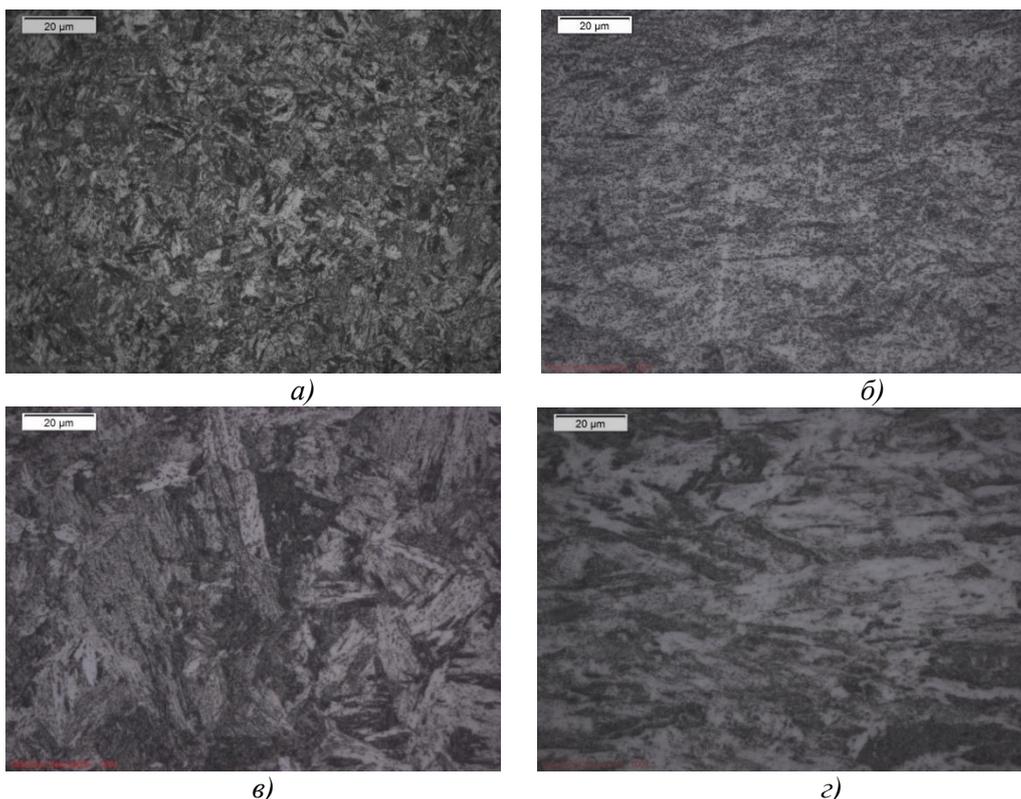


Рис.1. Текстура теплостойких сталей x1000:  
 а – ВКС-7 в исходном состоянии; б – ВКС-7 после ТПД ( $\epsilon = 40\%$ );  
 в – ВКС-10 в исходном состоянии; г – ВКС-10 после ТПД ( $\epsilon = 40\%$ )

### Литература

1. Рыжов Н. М., Семенов М. Ю. Износостойкость цементованного слоя легированной стали с избыточной карбидной фазой // Трение и износ. 1998 Т. 19, № 2. С. 235 – 240.
2. Рыжов Н. М., Семенов М. Ю., Фахуртдинов Р.С. и др. Модель диффузионного роста частиц карбидной фазы в цементованном слое теплостойких сталей // МиТОМ. 1998. № 9. С. 26 - 30.
3. Семенов М. Ю. Управление строением цементованных слоев теплостойких сталей. Часть I // МиТОМ. 2013. № 5. С. 31 - 38.
4. Семенов М. Ю. Управление строением цементованных слоев теплостойких сталей. Часть II // МиТОМ. 2013. № 5. С. 32 - 37.

УДК 621.787

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 22ГЮ

Арсений Александрович Сержант, Арсений Петрович Козлов,  
 студенты 5 курса,  
 кафедра «Материаловедение»,  
 Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Фёдорова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Подбор стали часто связывают со стремлением обеспечить высокую износостойкость детали при эксплуатации. Используемые в настоящее время способы повышения ресурса детали (специальная термообработка, напыление, искровое легирование, лазерная обработка, ионное азотирование и т.д.) требуют применения дорогостоящего оборудования, иногда экологически небезопасного, специальной обработки упрочняемых поверхностей, дорогих высокопрочных порошков. В связи с этим определенный интерес представляет метод упрочнения стальных деталей электромеханической обработкой (ЭМО).

Электромеханическое воздействие реализуется при пропускании электрического тока большой плотности и низкого напряжения через зону контакта детали 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 вглубь материала. В результате мощного контактного воздействия концентрированными потоками энергии на поверхности материалов образуется специфическая мартенситная структура.

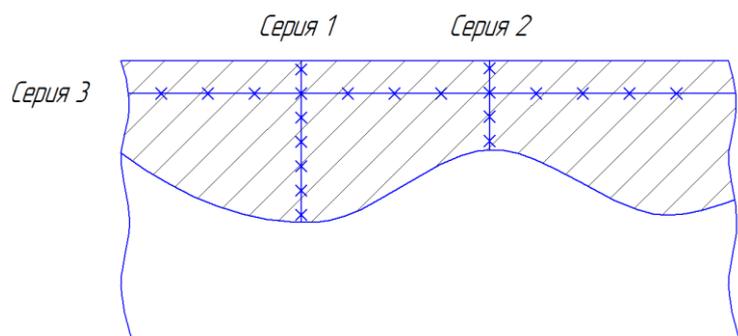
Преимуществом электромеханической обработки по сравнению с другими известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры и качество поверхности обработанных изделий остаются неизменными, отсутствует необходимость применения дополнительной термообработки, шлифования, сам процесс отличается низким энергопотреблением и достаточно высокой производительностью, экологической чистотой.

В данной работе в качестве упрочняемых изделий были выбраны втулки из стали 22ГЮ, широко применяемой в нефтепромысловом оборудовании. Для упрочняющей обработки применялась установка для электромеханической обработки «Стандарт-2» (рис. 1).



Рис. 1. Установка «Стандарт-2»

Обработка деталей производилась при напряжении 1 В, силе тока во вторичной цепи 1000 А, усилие прижатия 600 Н и частоты вращения 10 об/мин. Измерения твердости образцов до и после обработки проводились на микротвердомере EMCOTEST DugaScan. Среднее значение микротвердости поверхности



образцов из стали 22ГЮ до обработки составляло 200 HV, после ЭМО — 420 HV. В силу специфики электромеханической обработки толщина упрочненного слоя может изменяться вдоль поверхности детали, поэтому измерения проводились перпендикулярно поверхности в местах с наибольшей и наименьшей толщиной упрочненного слоя, а также вдоль поверхности на расстоянии 0,1 мм от нее. Схема измерений представлена на рис. 2

Рис. 2. Схема измерений микротвердости

На рис. 3 и рис.4 представлены графики изменения микротвердости обработанных втулок в зависимости от расстояния от поверхности и вдоль поверхности соответственно:

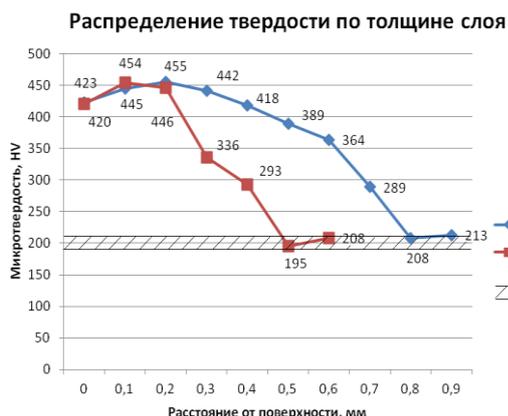


Рис. 3. Распределение твердости по толщине слоя



Рис. 4. Распределение твердости вдоль поверхности детали

Анализ представленных зависимостей показывает, что микротвердость обработанных образцов увеличилась в 1,8...2,3 раза.

## Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин ЭМО. 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1989. – 197 с.
2. Федоров С.К., Федорова Л.В. Нагрев и давление улучшат поверхность. - За рулем. - 1998. - № 9. - с. 175.
3. Федорова Л.В., Федоров С.К., Сараев В.Т., Ключев Ф.К. Применение технологии электромеханической обработки в ремонтном производстве ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод». // Научно-технический вестник НК Роснефть. – 2010. – №4, с. 44-47.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ОТЖИГА В КОЛПАКОВЫХ ПЕЧАХ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СТАЛИ МАРКИ 08Ю С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МИКРОЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Екатерина Михайловна Симич-Лафицкая,  
*студентка 5 курса,*  
*кафедра «Материаловедение»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Пахомова*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

До настоящего времени основными сталями, используемыми в автомобилестроении, в частности, для лицевых деталей автомобиля, остаются «мягкие» непрочные стали, обладающие высокой штампуемостью. В связи с увеличением общего количества автомобилей, появлением новых автомобильных производств на территории России, заинтересованностью мировых и отечественных автопроизводителей переходить на потребление российского автолиста и т.д. Ускоренными темпами будет развиваться потребление разных типов сталей, как высокопрочных, так и высокоштампуемых.

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.

В данной работе образцы изготавливали методом горячей прокатки с разной степенью обжатия. Горячая прокатка слябов на размер 3,5 мм осуществлялась на непрерывном широкополосном стане 2000. После охлаждения рулонов ниже 80°С производили травление полос на НТА-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 30x15 мм (для исследования микроструктуры) и 200x20 мм (для механических испытаний) подвергали термообработке по четырем режимам. Имитировали режим колпакового отжига с варьированием температуры первой ступени: 350, 400, 450 и 500 оС и с одинаковой температурой второй ступени, равной 700 оС. 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.

### Литература

1. *Шахпазов Е.Х., Зайцев А.И., Родионова И.Г.* Современные проблемы металлургии и материаловедения стали // *Металлург*, 2009, № 4, с. 25-31.
2. *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.
3. *Ускова Е.А., Клюев М.П., Казаков С.В.* Современное состояние и тенденции развития производства сталей для автомобилестроения в РФ и зарубежом // *Тр. VIII Конгресса сталеплавателей*. – М., 2005 г.
4. *Савчук Н.А., Воронов В.Ф.* Современные тенденции в производстве и потреблении стали // *Тр. VIII Конгресса сталеплавателей* – М., 2005 г.
5. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки – М.: Издательство стандартов, 1993.
6. *Блек В., Броне Р., Фельд А.* Разработка новой холоднокатаной стали для особо глубокой вытяжки // *«Черные металлы»*. – 1994.
7. *Беняковский М.А., Масленников В.А.* Автомобильная сталь и тонкий лист.- Издательский дом «Череповец», 2007.- 636 с.

**УДК 620.18:620.17**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ АРМИРОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ МКМ А1-В, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ НИХ**

*Александра Игоревна Степанова,  
студенка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научные руководители: Ю. А. Быков<sup>(1)</sup>, О. П. Баженова<sup>(2)</sup>,  
<sup>(1)</sup> доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана  
<sup>(2)</sup> ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина»*

В настоящее время большое внимание уделяется созданию композиционных материалов на основе металлических сплавов системы А1-В. Они широко применяются в области ракетно-космической промышленности, благодаря своим уникальным свойствам – сочетанию легкости и высоких жесткостных и прочностных характеристик. В работе изучены композиты этой системы, получаемые методом горячего прессования (ГП) пакета монолент. Последние получают методом плазменного напыления алюминия на волокна бора. Структурным исследованием показано, что ГП

обеспечивает хорошую связь волокон с матрицей. Изучено влияние различной ориентации волокон на комплекс свойств. Установлено, что при параллельной укладке волокон в листе, свойства последних вдоль волокон максимальны, поперек волокон – минимальны. Максимальные значения продольных прочности сжатия (2505 МПа) и прочности растяжения (1154 МПа) достигаются при комнатной температуре. При увеличении температуры до 250<sup>0</sup>С прочность снижается. Такая же закономерность сохраняется и при испытаниях образцов поперек волокон. В случае ортогональной укладки волокон прочность не зависит от направления испытаний, и имеет примерно одинаковые значения. Помимо прочности определялись значения предельной деформации, модуля упругости и прочности на сдвиг. Эти характеристики так же зависят от укладки волокон. Свойства определялись в диапазоне температур от 20 до 250<sup>0</sup>С.

Выполненные исследования показали, что металлические композиционные материалы системы «алюминий – борное волокно» сочетают в себе очень высокие значения прочности и жесткости, что делает их перспективными материалами для использования в высоконагруженных конструкциях, работающих при повышенных (до 200-250<sup>0</sup>С) температурах.

**УДК**

## **ЗАЩИТА ВНУТРЕННЕЙ ПОЛОСТИ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ТВД) ГТД**

Павел Александрович Стехов,  
*студент 5 курса,*  
*кафедра «Материаловедение»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. Г. Галоян,*  
*кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории 602 ФГУП*  
*«ВИАМ»*

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.

Нанесение защитного покрытия во внутреннюю полость методами физического осаждения невозможно.

В данной работе были рассмотрены возможные виды нанесения покрытия. Было установлено, что нанесение покрытия на внутреннюю полость возможно двумя способами: газоциркуляционным или порошковым методами. Внутренние полости рабочих лопаток могут иметь различную конфигурацию, необходим метод который позволит наносить покрытие на любые типы рабочих лопаток ТВД газотурбинных двигателей (ГТД). Газоциркуляционный метод сильно зависит от сложности конфигурации внутренней полости, и нанесение равномерного покрытия на полости со сложной конфигурацией практически невозможно. Порошковым методом было проведено алитирование внутренней полости. Проведено исследование равномерности покрытия внутренней полости. Было установлено, что порошковый метод позволяет нанести нужное покрытие.

## Литература

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – 2001.
2. Пат. РФ 2410546 от 27.06.2007
3. Пат. РФ 2331773 от 18.04.2006
4. Пат. РФ 2374458 от 28.03.2008
5. Пат. РФ 2263791 от 19.03.2004
6. Пат. РФ 2101513 от 10.01.1998

УДК 621.785.52

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Ксения Маратовна Суровцева,  
*студент 5 курса,*  
*кафедра «Материаловедение»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.С. Фахуртдинов,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Развитие авиации, космонавтики, ракетостроения — областей техники, где соотношение общей массы конструкции и полезной грузоподъемности приобретает решающее значение, — привело к созданию новых видов сталей и сплавов (мартенситно-старееющих сталей), на которых посредством легирования и соответствующей термической обработки можно достичь высокого уровня прочности ( $\sigma_b = 2000-2500$  МПа) при хороших значениях пластичности и вязкости.

Мартенситно-старееющие стали (МСС) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладноломкости.

Одним из способов увеличения ресурса нагруженных зубчатых колёс авиационных двигателей является повышение теплостойкости и контактной выносливости, что может быть достигнуто использованием МСС после поверхностной обработки.

Ведётся разработка режимов вакуумной цементации МСС, включая теоретическое и экспериментальное обоснование условий насыщения стальной поверхности углеродом в условиях низких давлений газовой среды.

Выполнен сравнительный анализ микроструктуры МСС различного химического состава после вакуумной цементации.

На основе экспериментальных исследований пока не удалось установить оптимальное значение технологических параметров (температуры, времени, условий циклической подачи компонентов газовой среды).

## Литература

1. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.

2. Термическая обработка в машиностроении: Справочник./ Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
3. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. - М.: Машиностроение, 1979.- 224 с.
4. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. и др. Особенности вакуумной цементации теплостойкой стали в ацетилене // МиТОМ. – 2004. - № 6. – С. 10-15.

**УДК 669.295**

## **ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ВЫПЛАВКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ СЛИТКОВ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО ПСЕВДО- $\beta$ -ТИТАНОВОГО СПЛАВА**

Екатерина Матвеевна Баш,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.А. Ночовная,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

В связи с тем, что в условиях конкурентной борьбы наиболее важными становятся требования к экономичности изделий авиационного транспорта, особенно актуальными становятся вопросы повышения уровня эксплуатационных и технологических свойств материалов, применяемых для изготовления деталей и узлов современных самолётов. Именно поэтому в настоящее время происходит быстрое увеличение доли титановых материалов в конструкции планера современных самолётов, применение которых позволяет повысить весовую эффективность и экологичность изделий авиационного транспорта. Однако успешное решение задачи получения высокопрочных высоконадёжных конструкций, спрос на которые в авиакосмической сфере постоянно растёт, невозможно без разработки и усовершенствования химического состава сплавов, а также отработки технологий их эффективной обработки, в частности технологии изготовления слитков.

Исходя из проведенного анализа физико-механических и технологических свойств титановых сплавов различных классов и систем легирования, можно утверждать, что наибольший интерес для практического применения в качестве конструкционных материалов для авиации и космической отрасли (особенно в виде листовых полуфабрикатов) представляют умеренно легированные псевдо- $\beta$ -титановые сплавы с термически нестабильной  $\beta$ -фазой, которые могут быть существенно упрочнены путем проведения термической обработки. При этом уровень прочностных характеристик данных сплавов практически соответствует значениям многих конструкционных ( $\alpha+\beta$ )-сплавов. Отмечено, что высокопрочные псевдо- $\beta$ -титановые сплавы характеризуются высокими показателями сопротивления усталости и вязкости разрушения при высоком уровне прочностных характеристиках.

Таким образом, псевдо- $\beta$ -сплавы могут быть рекомендованы в качестве конструкционных материалов, предназначенных для изготовления различных элементов планера современных авиационных изделий, в частности высокопрочных листовых нежёстких штамповарных конструкций, длительно работающих при температурах не выше 350 °С.

В связи с тем, что уровень и степень однородности физико-механических свойств по сечению полуфабрикатов непосредственно связаны с ликвационными явлениями в слитках (в частности, наличием химических неоднородностей и зон, обогащенных или обедненных рядом легирующих элементов) существует необходимость в совершенствовании технологических подходов и отработки параметров вакуумно-дуговой плавки высоколегированных титановых сплавов.

Известно, что такие параметры, как сила тока дуги, напряжение, плотность тока, напряженность магнитного поля соленоида и ряд других влияют на металлургическое качество получаемых слитков. Поэтому технологический процесс получения высококачественных слитков должен быть построен с учетом влияния всех вышеперечисленных факторов, в том числе химического состава сплава и способа введения конкретных легирующих элементов, в особенности тугоплавких и склонных к ликвации. Таким образом, начальные стадии технологического процесса изготовления слитков (1-й и 2-й переплавы) должны быть направлены на максимальное растворение и перемешивание с титаном чистых легирующих элементов и лигатур, при этом не вызывая сильно выраженной зональной ликвации. Последние стадии должны быть направлены на получение наилучшего сочетания структуры, плотности, однородности химического состава и качества поверхности слитков.

С целью определения технологических режимов изготовления малогабаритных слитков высоколегированного псевдо- $\beta$ -титанового сплава методом тройного вакуумно-дугового переплава (ВДП) была выплавлена партия экспериментальных слитков диаметром 200мм и массой  $\approx 35$ кг. При этом варьировались ток/плотность тока на 1-ом, 2-ом и 3-ем переплавах и схема вывода усадочной раковины. Полученные слитки были проанализированы на наличие и степень развития металлургических дефектов (усадочные раковины, поры, состояние поверхности), проведены исследования макро- и микроструктуры слитков, а также химического состава и характера распределения основных легирующих элементов по сечению.

Исследования показали, что микроструктура всех слитков экспериментального псевдо- $\beta$ -титанового сплава представлена крупными зёрнами  $\beta$ -фазы. Местами наблюдаются микропоры в незначительном количестве. Такая структура типична для литой структуры высоколегированных титановых сплавов, способных полностью закаливаться на  $\beta$ -твёрдый раствор.

Анализ макроструктуры слитков, изготовленных по различным режимам, показал, что с понижением силы тока и, соответственно, его плотности наблюдается тенденция к уменьшению поперечных размеров столбчатых кристаллов, особенно в донных частях. Характер распределения основных легирующих элементов и относительные отклонения их содержания по сечениям слитков находятся в допустимых пределах и соответствуют шихтовому составу.

Таким образом, можно сделать вывод, что снижение силы тока в определенных пределах и, соответственно, глубины жидкой ванны при выплавке слитков из высоколегированных титановых сплавов позволяет получать более мелкозернистую структуру, наиболее благоприятную для дальнейшей деформационной обработки.

## Литература

1. Андреев А. Л., Аношкин Н. Ф., Бочвар Г. А. и др. Плавка и литье титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1978. – 383 с.
2. Глазунов С. Г., Моисеев В. Н. Конструкционные титановые сплавы, – М.: Металлургия, 1974. – 368 с.

3. *Добаткин Н.Ф.* Вакуумная дуговая плавка металлов и сплавов. – М.: ОНТИ, 1966. – 313 с.

**УДК 669.018.9**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗЫ НА ТВЕРДОСТЬ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Юлия Александровна Лопатина,

*студентка 4 курса*

*кафедра «Материаловедение»*

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

*Научный руководитель: Курганова Юлия Анатольевна,*

*доктор наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение»*

Сложные материалы, в состав которых входят сильно отличающиеся по свойствам нерастворимые один в другом компоненты, разделённые ярко выраженной границей, называются композиционными материалами. Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объёму, является матрицей; компонент прерывный, разделённый в объёме композиции, считается усиливающим или армирующим и называется наполнителем.

Одно из важнейших достоинств композиционных материалов – это возможность изготовления из них элементов изделий с заранее заданными свойствами, наиболее отвечающими условиям работы деталей и конструкций.

Наиболее перспективными материалами для матриц металлических композиционных материалов являются металлы, обладающие небольшой плотностью. Особенно выгодно среди них отличается алюминий, обладающий высокой коррозионной стойкостью и являющийся высокотехнологичным конструкционным материалом.

Контактное взаимодействие фаз содержит ключ к пониманию природы новых свойств, которыми обладают композиты, и их целенаправленному регулированию.

Наиболее известным, дешевым и технологичным в плане обеспечения совместимости компонентов для алюминиевых матриц является карбид кремния (SiC).

Мировые тенденции производства и применения металломатричных композиционных материалов свидетельствуют о явной потребности производства такого рода материалов и изделий из них.

Высокие характеристики металломатричных композиционных материалов на основе алюминия, дисперсно-армированных частицами SiC, позволяют изготовить из этого материала ответственные детали.

Для наполнения алюминиевых сплавов дисперсными частицами карбида кремния среди твердофазных методов совмещения наиболее привлекательными согласно основным факторам выбора являются методы порошковой металлургии.

Среди жидкофазных процессов для получения образцов был выбран способ механического замешивания наполнителя в матричные расплавы.

Так как твердость служит наиболее наглядным показателем проявления упрочнения, а в случае с дисперсно-упрочненными материалами косвенно характеризует равномерность распределения свойств, то очевидно, что задача определения твердости металломатричных композиционных материалов обладает большим практическим значением.

Замеры твердости на образцах проводились по методам Бринелля и Роквелла по шкале HRB. Данные методы дают более надежные результаты по сравнению с другими методами при оценке твердости композиционного материала, поскольку при проведении измерений воздействию индентора подвергается большой объем материала.

Анализ результатов демонстрирует увеличение твердости композитов с увеличением количества армирующей фазы при любом способе получения. Значения твердости образцов, полученных твердофазным формованием, превосходят значения твердости образцов такого же состава, но полученных жидкофазным методом.

Целесообразным является производство композитов с содержанием наполнителя ниже 15 % жидкофазным методом, высоконаполненных композитов – твердофазным методом.

### Литература

1. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др.; Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. —М.: Машиностроение, 1990. —512 с.: ил.
2. *Вотников А.М.* Технология композиционных материалов: Учеб.пособие. Перм.гос.техн.ун-т. Пермь, 1998. 138 с.
3. *Курганова, Ю. А.* Разработка и применение дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов / Ю. А. Курганова, Т. А. Чернышова. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 223 с.
4. ГОСТ 11069-2001. Алюминий первичный. Марки.
5. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.
6. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.
7. *C. Hakan Gür*, Middle East Tech. Univ., Metallurgical and Materials Eng. Dept., Ankara-Turkey. Ultrasonic investigation of SiC-particle reinforced aluminium matrix composites.
8. *Manoj Singla, D. Deepak Dwivedi, Lakhvir Singh, Vikas Chawla.* Department of Mechanical Engineering, R.I.E.I.T., Railmajra, Distt. Nawanshahr, India. Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite.
9. *Ю.А. Курганова, В.В. Березовский, Г.П. Фетисов, А.А. Шавнев* Анализ перспективности использования дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов системы Al-SiC в изделиях авиационного назначения.
10. *Чернышова, Т. А.* Литые дисперсно-упрочненные алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение / Т. А. Чернышова, Ю. А. Курганова, Л. И. Кобелева, Л. К. Болотова. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 295 с.
11. *Матюнин В.М.* Механико-технологические испытания и свойства конструкционных материалов: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 140 с.

## ПОВЕРХНОСТНОЕ НАСЫЩЕНИЕ КИСЛОРОДОМ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ВТЗ-1 И ВТ22 В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Александр Сергеевич Жидков,  
студент 6 курса,  
кафедра «Материаловедение в машиностроение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Быков<sup>(1)</sup>, И.Ю. Сапронов<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»<sup>(1)</sup>  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»<sup>(2)</sup>

Существенная проблема эксплуатации изделий из титановых сплавов – это их неудовлетворительные триботехнические свойства. Одним из путей решения данной проблемы может служить технология поверхностного насыщения титановых сплавов кислородом (альфирование) в результате их термоциклической обработки (ТЦО). При ТЦО  $\alpha+\beta$  титановых сплавов происходит полиморфное превращение, благодаря которому повышается плотность дефектов кристаллической решётки (КР), что приводит к ускорению диффузии [1, 2], и достигается более мелкозернистая структура в сравнении с непрерывной обработкой [3].

Цель работы – установить закономерности влияния ТЦО на процесс альфирования  $\alpha+\beta$  титановых сплавов с различным соотношением фаз.

Выполняли термоциклическое и непрерывное альфирование сплавов двух марок: ВТЗ-1 и ВТ22. Обработку проводили в печной атмосфере при температурах 800°C и 925°C. Число циклов  $n=10$ .

После термообработки изготавливали поперечные шлифы для измерения микротвёрдости и изучения микроструктуры. С помощью послойного рентгенофазового анализа (РФА) оценивали период решетки и соотношение фаз.

В результате альфирования происходит насыщение поверхности кислородом на глубину до 100-150 мкм, причем для ВТЗ-1 это показатель больше. Насыщение кислородом приводит к увеличению периода КР  $\alpha$ -фазы на 1-5%, а также её количества вплоть до 100% в слое толщиной ~5мкм.

Микротвёрдость на поверхности после ТЦО составила 1050  $HV_{0,025}$  и 920  $HV_{0,025}$ , а после непрерывной обработки 650  $HV_{0,025}$  и 750  $HV_{0,025}$  для сплавов ВТЗ-1 и ВТ22, соответственно. Микротвёрдость сердцевины обоих сплавов не превышала 400  $HV_{0,025}$ .

ТЦО помимо повышенной твердости формирует ещё и более мелкозернистую структуру (см. рис.1) в сравнении с непрерывной обработкой.

Сплав ВТЗ-1 содержит больше  $\alpha$ -фазы, чем ВТ22, т.е. при ТЦО объём сплава, в котором происходит  $\alpha\leftrightarrow\beta$  превращение, у ВТЗ-1 выше. Это создает в нём повышенную плотность дефектов и, как следствие, более высокую концентрацию кислорода в поверхностном слое за счет более интенсивной диффузии [4].

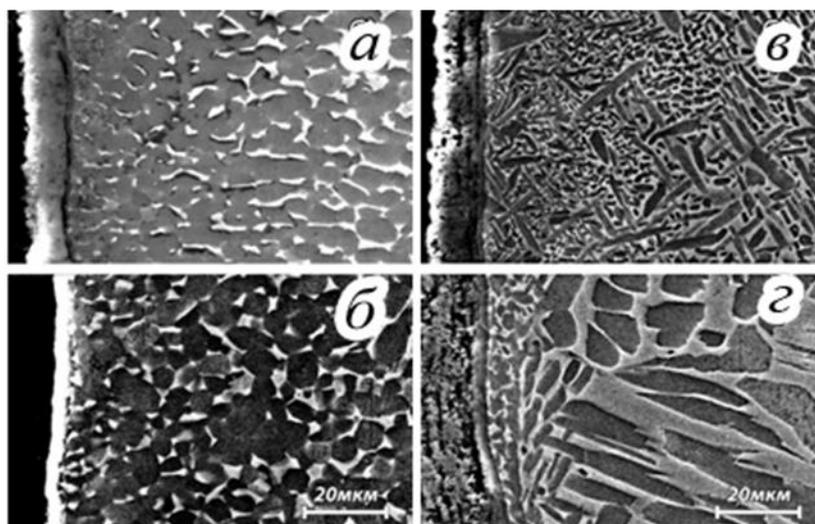


Рис. 1 Микроструктуры сплавов VT3-1(а, б) и VT22(в, г) после альфирования: а, в – ТЦО; б, г – непрерывная обработка.

### Литература

1. Бокштейн, С.З. Влияние тонкой структуры, возникающей в титане в процессе полиморфного ( $\alpha \leftrightarrow \beta$ ) превращения на диффузионную подвижность / С.З. Бокштейн, С.Т. Кишкин, Л.М. Мирский // Изв. АН СССР. Металлы. – 1971. – №5. – С.210-215.
2. Лясоцкая, В.С. Полиморфное превращение - основа термоциклической обработки титановых сплавов/ В.С. Лясоцкая, С.И. Князева // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000 – №4. – С.20-23.
3. Лясоцкая, В.С.. Термоциклическая обработка титановых сплавов, основанная на полиморфном превращении / В.С. Лясоцкая, С.И. Князева // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009 – №1 – С. 9-13.
4. Земский, С.В. Некоторые вопросы диффузии при термоциклической обработке / С.В.Земский, С.Ф. Забелин и А.С. Тихонов // Термоциклическая обработка металлических изделий: матер. конф.– Л., 1982 – С. 22-23.

УДК 620.186.82

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИТТРИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ ВКС-10У-Ш (ТИПА ВКС-10)

Михаил Максимович Тихонов,  
студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Герасимов  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

**Объектом исследования** является высокопрочная конструкционная сталь ВКС-10У-Ш (типа ВКС-10).

**Цель работы** – провести сравнение теплостойких сталей ВКС-10 и ВКС-10У-Ш, определить влияние иттрия на структуру и свойства теплостойкой стали ВКС-10У-Ш (типа ВКС-10).

**В работе были получены следующие результаты:**

- определенно влияние иттрия, как легирующего элемента, на размер зерна стали ВКС-10.

- так же показано положительное влияние иттрия на образование карбидной сетки по границам зерен.

**Область применения.**

Высокопрочная конструкционная сталь ВКС-10У-Ш (типа ВКС-10) может быть использована для высоконагруженных зубчатых колёс редукторов вертолётов и приводов вентилятора перспективных ТРДД.

**Экономическая эффективность.**

При повреждении редуктора возникает опасность местного мгновенного повышения температуры рабочих поверхностей. При повышении температуры трибологического сопряжения сверх критических значений происходит изменение характера трения и лавинообразное образование адгезионных связей между сопряженными поверхностями схватывание участков фактического контакта, крайней степенью которого является заедание.

В связи с этим предъявляемые к материалам современных авиационных зубчатых колёс требования превышают по теплостойкости и сопротивлению адгезионному износу (схватыванию и заеданию) требования по этим характеристикам комплексно легированных сталей типа 20ХЗМВФ-Ш и 16ХЗНВФМБ-Ш, применяющихся в современном авиационном двигателестроении.

Для указанных условий эксплуатации сотрудниками ФГУП «ВИАМ» разработана мартенситно-старяющая сталь ВКС-10 (13ХЗНЗМ2ВФБ-Ш), которая характеризуется особо высокой теплостойкостью (вплоть до 450 °С) и повышенными прочностными характеристиками.

Применение же стали ВКС-10У-Ш (типа ВКС-10) позволит повысить ресурс примерно в 1,5 раза, снизить вес редуктора и обеспечить надёжность работы в аварийных ситуациях в случае отсутствия смазки, в течение 40 минут.

**УДК 672.1**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Сергей Алексеевич Чальцев,

*студент 5 курса,*

*кафедра «Материаловедение»,*

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

*Научный руководитель: А.И. Плохих,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Современные кристаллические материалы и традиционные технологии изготовления и упрочнения деталей машин и механизмов практически исчерпали свои потенциальные резервы. Дополнительные и значительные ресурсы повышения комплекса эксплуатационных свойств заключены в разработке объемных функциональных металлических наноструктурных материалов. К таким материалам

относятся многослойные металлические материалы. Преимуществом деталей и конструкций, изготовленных из такого материала, является повышенный ресурс при работе в условиях высоких температурно-силовых нагрузок с одновременной экономией дорогостоящих легирующих элементов.

В работе было проведено исследование деформационной способности многослойных материалов с целью получения из них готовых оболочечных конструкций, стаканов без швов. Основной проблемой является сохранение равномерной толщины слоёв по сечению детали. Для исследования были взяты образцы, полученные методом горячей прокатки, с последующей разупрочняющей термообработкой и без неё. В образцах, полученных после термообработки, ожидалось улучшение пластических свойств, что должно было положительно сказаться на критическом коэффициенте вытяжки.

Результаты проведённых исследований показали большой критический коэффициент вытяжки при использовании разупрочняющей термообработки, а именно отжига при 900 градусах Цельсия, при сохранении ламинарной структуры и толщины слоев на различных участках многослойных образцов.

### Литература

1. Стабильность микроструктуры металлических систем / Дж. Мартин, Р. Доэрти. – М.: Атомиздат, 1978 – 280 с.
2. Диффузия атомов и ионов в твёрдых телах / Бокштейн Б. С., Ярославцев А. Б. – М.: МИСИС, 2005 – 362 с.
3. Исследование влияния диффузионной подвижности легирующих элементов на стабильность структуры многослойных металлических материалов / Плохих А. И., Власова Д. В., Ховова О. М., Полянский В. М. – М.: Наука и Образование, 2011 – 16 с.
4. О возможности применения многослойных металлических материалов для деталей машин, упрочняемых ХТО / Плохих А. И. / МГТУ им. Н. Э. Баумана, Межвузовский сборник научных статей, №6(109) – Волгоград: ВГТУ, 2009. – 328 с.
5. Исследование фазового состава диффузионной зоны в композите системы медь-титан / Шморгун В. Г., Слаутин О. В. и др. / ВГТУ, Межвузовский сборник научных статей, №6(109) – Волгоград: ВГТУ, 2009. – 328 с.

**УДК 621.77.01**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ УГЛЕРОДА НА СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕЙ**

Чан Юэ,

*студентка 5 курса,*

*Кафедра «Материаловедение»*

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

*Научный руководитель: А.И. Плохих,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

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 и тысяч слоев разнородных металлов и сплавов.

В то же время практика показывает, что стабильность такой многослойной структуры зависит от ряда факторов. В первую очередь от подвижности легирующих элементов участвующих в процессе выравнивания концентрации при межслойной диффузии, следствием которой может стать структурная перекристаллизация, приводящая к нарушению ламинарного строения материала.

Для 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, при разных температурах прокатки, были получены заготовки листового сортамента толщиной 10 мм.

После завершения технологического цикла из заготовок были получены образцы для проведения структурных исследований. 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 микроскопией.

Было установлено, что структура образцов полученных прокаткой при температуре 800 °С, сохраняет свое ламинарное строение с выдержкой до 1,5 часа. Вместе с тем, характер изменения внутреннего строения слоев, которое выявляется, как увеличения темных (перлитных) участков в слоях стали 08кп, может говорить о межслойной выравнивающей диффузии углерода из слоев стали У8.

## 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. Колесников А.Г., Плохих А.И., Михальцевич И.Ю. Исследование возможности получения субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // *Производство проката.* - 2010. - № 3. - С. 25-31.
3. Шистка Е.Е. Исследование диффузионной подвижности атомов внедрения в многослойных металлических материалах при проведении ХТО // *Будущее машиностроения России: Сборник трудов 5-й международной конференции молодых ученых и специалистов* - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. - С. 102-103.

## **Секция IX**

### **Промышленный дизайн**

Председатель:

**Терехова Наталья Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент, заместитель  
заведующего кафедры «Промышленный дизайн» (МТ-9)

Ученый секретарь:

**Резванцева Александра Борисовна**

ассистент кафедры МТ-9

## ПАРАБОЛА И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Федор Андреевич Загуменнов,  
студент 1 курса,  
кафедра «Технология приборостроения»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Т.И. Маслова,  
ассистент кафедры «Инженерная графика»

В данной работе рассмотрены как рядовые примеры применения геометрической кривой - параболы, так и примеры использования параболы в новых технологиях. Детально рассмотрена роль параболы в технологиях освещения в компьютерной графике. Парабола является кривой, представляющей собой геометрическое место точек, равноудалённых от фокуса параболы и другой заданной прямой. Эта кривая, а также соответствующий ей в трёхмерном мире эллиптический параболоид, играют важную роль во многих физических процессах, в связи с чем нашли широкое применение и распространение во многих инженерных, технических и др. устройствах, в архитектуре. Парабола изображена на рисунке 1. Первыми описали параболу античные греческие учёные, в рамках труда о конических сечениях.

Наиболее значимым является т.н. «оптическое свойство» параболы - пучок лучей, параллельных оси параболы, отражаясь в параболе, собирается в её фокусе. Из-за этого параболе нашли самые различные применения в различных оптических устройствах.

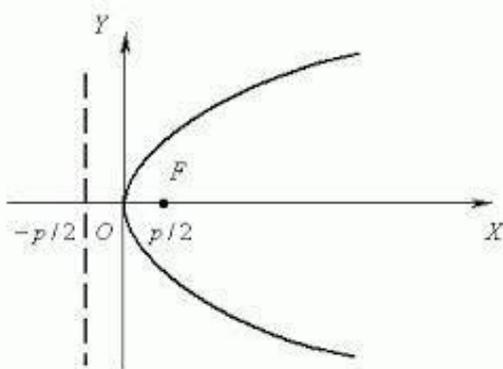


Рис.1.

### Практическое применение параболы

В статье рассмотрены различные применения параболы, например, приборы, использующие параболу в оптической системе, нагреватели, параболические солнечные батареи. Парабола является траекторией многих космических объектов, и используется как идейная составляющая во многих космических проектах. Парабола применяется в медицине, как нагреватель. Широкое применение параболы нашла в радиоэлектронике – в виде спутниковых антенн. В массовой культуре парабола показывается в некоторых научно-фантастических фильмах, как составная часть устройства. Параболические зеркала применяются для зажигания Олимпийского огня. Более подробно в статье рассмотрено место параболы в коническом источнике света в

компьютерной графике, где т.н. «прожекторный» (англ. spotlight) источник света использует квадратичное затухание света. Кроме того, сам контур такого типа источника света ограничен двумя конусами, в связи с чем граница сечения пространства, освещаемые источником света, представляют собой конические сечения, в том числе и параболу.

В статье приведён код реализации подобного типа освещения на языке CG(C for Graphics). Результат использования данного источника света представлен на рис.1.1-1.4. На рис. 1.1 изображено эллиптическое сечение. Рис. 1.1-1.2 представляют собой 2 конических сечения – пересекающиеся прямые, для достоверности, что мы имеем дело с конусом, и параболу – объект нашего исследования. На рис. 1.4 изображено возможное применение параболы в качестве модели источника света. Для этого конус разделяется на 2 части, и осуществляется переход от одной параболы к другой, с целью плавного, «фонарного» света. Мы можем наблюдать схожий эффект и в реальном мире. Изображения получены при помощи движка Run3, автором которого я являюсь. Моделирование данного источника света в других программах осуществляется аналогично, так как основой являются 2 конуса света.

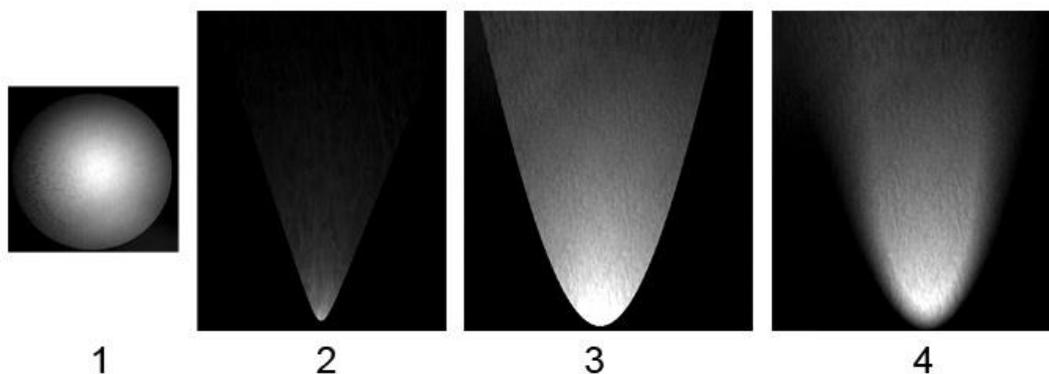


Рисунок 7.1-7.4. Конические сечения источника света с параболическим затуханием

### **Заключение**

Парабола является эффективным инструментом в руках инженера, с помощью неё возможно решение широкого спектра технических задач в различных устройствах и приборах.

Парабола является лишь геометрической кривой, но имеет массу приложений из-за её необычных свойств.

### **Литература**

1. Канатников А.Н., Крищенко А.П. Аналитическая геометрия. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. NVidia CG Tutorial. – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://http.developer.nvidia.com/CgTutorial/cg\\_tutorial\\_chapter01.html](http://http.developer.nvidia.com/CgTutorial/cg_tutorial_chapter01.html) - Проверено 21.02.2014
3. SSAO & Per-Pixel Shading Example. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ogre3d.org/forums/viewtopic.php?f=11&t=47927> - Проверено 21.02.2014
4. Парабола как космическая траектория. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.kosmos-inform.ru/pe/parabola.html> - Проверено 21.02.2014
5. С.А.Фролов, М.В. Покровская В поиска начала. Рассказы о начертательной геометрии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕСТИОСЕВОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Мария Сергеевна Коваленко, Ирина Константиновна Платонова, Элина Николаевна Голубева,  
*студенты 6-го курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Синельников,  
Ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»*

Дизайн-исследования и анализ пользовательских характеристик КИМ были проведены на основе знакомства студентов с образцом шестиосевой координатно-измерительной машины (рис.1) КИМ мод. ТМ 1000 на московском предприятии НПО «Салют»

В ходе посещения метрологической лаборатории инженер-метролог завода подробно познакомила студентов с устройством и особенностями эксплуатации КИМ, наглядно продемонстрировала основные операции рабочего цикла измерений на примерах контроля двух типоразмеров зубчатых колес.

В ходе этого мероприятия нами было проведено натурное исследование – наблюдение за процессом работы методом фото и видео метрии, которое впоследствии позволило обнаружить и сформулировать основные проблемы эксплуатации КИМ, а также предложить варианты их решений для обсуждения с заказчиком.

В процессе наблюдения за измерением был отмечен ряд проблем, связанных с работой оператора и предложены возможные способы их решения

оператору приходится низко нагибаться, пододвигаться близко к щупу, залезая головой в подвижные части, приглядываться. Чтобы упростить работу оператора, мы предлагаем следующие простые решения:

-- Ввести лупу с подсветкой для того, чтобы избежать сложностей во время задания машине базовых поверхностей деталей.

-- Ввести видеокамеру и выводить изображение на монитор компьютера или на дисплей пульта. Камера может быть полезна также во время обучения.

-- Ввести звуковой или световой сигнал, срабатывающий при касании щупом поверхности во время ручной настройки с пульта.

-- Весь инструмент и сопроводительные приспособления, беспорядочно располагающиеся либо на рабочей плоскости КИМ, либо во всевозможных коробках, хранить в полостях дополнительной столешницы или в передвижных тумбах. Предлагается набор стандартизированных и собираемых по принципу «ЛЕГО» отсеков для хранения. Для мелкого инструмента и деталей могут использоваться универсальные перфорированные листы и магнитные полосы или панели и пластины .

-- Размещение чертежей, справочных материалов, ГОСТов в рабочей зоне исключат необходимость оператору постоянно возвращаться к рабочему столу. Возможности по их размещению: под небьющимся стеклом на рабочей плоскости, на стандартных креплениях-держателях на отдельной стойке вблизи рабочей зоны.

-- Проблемы освещения очень важны, так как оператор регулярно выполняет скрупулезную работу, задавая машине базовые поверхности детали. Хорошее освещение может значительно упростить этот процесс и сэкономить здоровье

оператору, которому приходится низко нагибаться и приглядываться. Тут также был предложен ряд простых решений.

-- Проблемы программного обеспечения, связанные с использованием различных программ, между которыми постоянно приходится переключаться, могут решаться за счет принципа модульности ПО - одна основная программа и к ней подключаются модули для специфических измерений.

-- Пульта управления, который слишком громоздкий и тяжелый, в результате чего не может использоваться как переносной, предложено модифицировать и перекомпоновать, пересмотрев функции и упорядочив элементы управления.



Рис.1. Шестиосевая координатно-измерительная машина

### Литература

1. Мартин Б., Ханингтон Б. Универсальные методы дизайна. 100 эффективных решений для наиболее сложных проблем дизайна. –Питер, 2014, 208 с.
2. Сайт заказчика: <http://www.lapic.ru/>

## СТРУКТУРНАЯ ОТКРЫТОСТЬ ВЕЩИ НА ПРИМЕРЕ УЛИЧНОГО СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Мария Сергеевна Коваленко,  
студентка 6-го курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

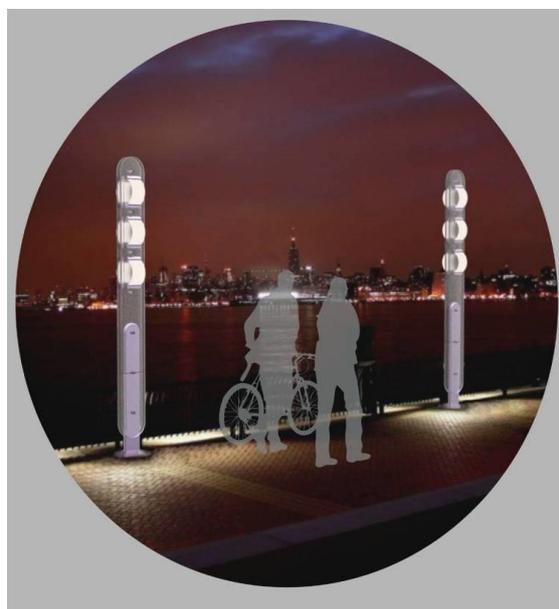
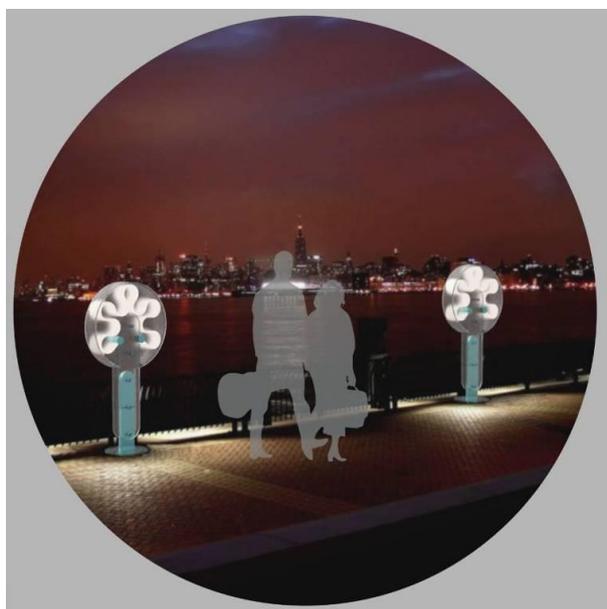
Научный руководитель: А.С. Синельников,  
Ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»

Распространенный сегодня подход в конструирование вещи заключается в следующем: нужно скрыть её технические, «некрасивые» части под гладкой оболочкой, за которой уже совсем не видно, что это за вещь. Примеров вокруг нас множество: двигатель под бампером машины, цоколь лампочки, печатающая головка в принтере, матрица в цифровом фотоаппарате.

Я же предлагаю сделать вещь более открытой, показать пользователю, как она работает, разделить с ним технологические тайны и сделать его нашим соучастником. Это своеобразная игра с пользователем, в которой он прикладывает определённые усилия и узнаёт что-то новое об окружающем мире.

Таким образом, мы можем не прятать технические части, а делать их активными участниками композиции.

Описанный выше принцип я назвала принципом структурной открытости вещи. Исходя из него я проектировала уличные светодиодные светильники.



В светильниках использована светодиодная силиконовая лента с матовым покрытием, которая выполняет роль рассеивателя. Сложная изогнутая форма этой ленты уже показывает всем, что светильники работают на светодиодах, так как ленту такой формы нельзя получить, используя другие источники света. То есть нам сразу понятно, что эти светильники – светодиодные.

Светодиодная лента крепиться к клеммам. Клеммы в данном случае – большие яркие цилиндры, являющиеся важной частью композиции. Мы понимаем - питание светодиодных лент осуществляется через эти клеммы. Электричество к клеммам подается с помощью токопроводящего покрытия – это ещё один активный композиционный элемент. Крепеж тоже не скрыт, а выделен, поэтому мы сразу понимаем конструкцию светильников.

Все основные элементы светильника – силиконовая светодиодная лента, токопроводящее покрытие, клеммы, крепеж – не спрятаны от пользователя, а играют важную роль в композиции. Пользователь видит, как работает светильник, откуда берётся энергия, какая технология используется для получения света, как скреплены разные части устройства. Это не закрытое устройство, где все тайны спрятаны внутри, а открытое, где пользователю всё просто и ясно. Такой светильник не только выполняет свою прямую функцию, но и вызывает интерес, привлекает внимание и заставляет задуматься об устройстве вещей. Этим и хорош принцип структурной открытости, который я и предлагаю использовать всем дизайнерам как один из методов решения стоящих перед ними задач.

### Литература

1. Папанек В. Дизайн для реального мира.- Д. Аронов, 2008.-416с.
2. Власов В.Г. Стили в искусстве. - Спб., 1998г.
3. [www.omami.ru](http://www.omami.ru) – О дизайне с любовью

**УДК 658.512.23**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ТУННЕЛЬНОГО КАРПАЛЬНОГО СИНДРОМА

Ирина Константиновна Платонова,  
студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.М. Михеева,  
ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»

Сейчас производится много устройств, помогающих людям в их работе, обучении, для медицины, просто для игр и развлечений. Производители уделяют большее внимание новинкам в области технических характеристик, функциональности и внешнему виду, которые заставят людей покупать их продукт. И только иногда рассматривается эргономика, как человек будет взаимодействовать с этим предметом. Часто закрываются глаза на явные недостатки и возможные негативные последствия.

Одна из деятельностей человека — работа за компьютером с соответствующим набором устройств и оборудования, которая приводит к серьезным заболеваниям. Одно из таких заболеваний туннельный карпальный синдром. Среди причин появления заболевания — неправильная поза во время работы и неправильный изгиб руки при использовании современных средств коммуникации (работа с «мышкой» и клавиатурой, планшетами, ноутбуками и др.) за неудобным столом. Нарушается естественное, так называемое среднефизиологическое положение.

Проявляется синдром болями ощущениями в локтевых суставах, предплечьях,

запястьях, кистях и пальцах рук. После отдыха симптомы обычно не проходят, случается, неприятные ощущения не дают уснуть и будят ночью. Вплоть до того, что человек не может удержать ложку или карандаш, держаться за поручень, больше 10-15 минут выполнять ручную работу.

И несмотря на то, что об этом заболевании уже достаточно давно известно, до сих пор производится и продается оборудование способствующее развитию этого заболевания. Но все же есть некоторые попытки производить хороший качественный продукт, что в данном случае может означать удобное и функциональное пользование, отвечающее запросам людей с современным внешним видом, но не приводящее к плачевным последствиям для организма.



Рис. 1. Попытки производить эргономичное оборудование

В этом оборудовании, конечно, решаются некоторые проблемы, но далеко не все. Не решена главная проблема — изгиб в запястье.

Работу за компьютером и эргономику рабочего места необходимо рассматривать в целом и с разных сторон. Часто высота стола не соответствует росту человека. Ширина и глубина столешницы не позволяют нормально положить руки полностью. Выдвижная подставка для клавиатуры вообще не дает нормально с ней работать.

В этом случае пользователям предлагаются подставки под локоть и запястье, но они опять решают частную проблему, но не основную, а также обычно они не удобные.



Рис. 2. Подставки под локоть и запястье

Если же в целом посмотреть на ситуацию, то увидим, что столы и компьютерное оборудование практически не отвечают эргономическим требованиям для нормальной работы человека за компьютером и приводят к разным заболеваниям, в частности рассмотренный туннельный карпальный синдром. Из вышеописанного исследования по компьютерному оборудованию следует сделать следующий вывод. Современному человеку, работающему за компьютером, не хватает правильно спроектированных приспособлений, которые бы не способствовали развитию заболеваний, обеспечивая эффективную работу. А также помогали бы людям, которые уже получили заболевание туннельного карпального синдрома.

## Литература

1. <http://34.rospotrebнадзор.ru/directions/nadzor/95143/>
2. <http://www.compress.ru/article.aspx?id=16484&iid=755>
4. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Синдром\\_запястного\\_канала](http://ru.wikipedia.org/wiki/Синдром_запястного_канала)
5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14719559?dopt=AbstractPlus>
6. <http://www.medtran.ru/rus/articles/2007/1/tunnel-syndrom.htm>
7. <http://blog.unitex.ru/2011/01/ergonomika-tela-kak-pravilno-sidet-za-rabochim-stolom-na-ofisnom-kresle/>
8. [http://gazeta.zn.ua/HEALTH/kompyuternyy\\_sindrom.html](http://gazeta.zn.ua/HEALTH/kompyuternyy_sindrom.html)
9. <http://www.km.ru/zdorove/2012/09/04/zdorove/tunnelnyi-sindrom-zabolevanie-ofisnogo-sotrudnika>
10. [http://handclinic.blogspot.ru/2012/07/blog-post\\_13.html](http://handclinic.blogspot.ru/2012/07/blog-post_13.html)
11. <http://skuonline.ru/blog/buysku/241.htm>

**УДК 658.512.23**

### **СВЕТИЛЬНИК СВЕТОДИОДНЫЙ ПАРКОВЫЙ**

Ирина Константиновна Платонова,  
*студентка 6 курса,*  
*кафедра «Промышленный дизайн»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Н. Лысенко,*  
*ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»*

Уличные светодиодные светильники в последнее время набирают все большую популярность, даже несмотря на более высокую стоимость. Ведь использование светодиодов позволяет создавать самые экономичные в эксплуатации, и долговечные системы освещения.

Светодиоды дают возможность оформить любой парк или сад в индивидуальном стиле, наилучшим образом соответствующем его особенностям. Хороший дизайн освещения имеет не только функциональное, но и эстетическое значение.

Проект светильника светодиодного представлен в двух размерах с единым оформлением. Он может не только освещать дорогу в темное время суток парков, скверов и улиц, но также сможет радовать прохожих интересной и необычной формой, а также игрой света.

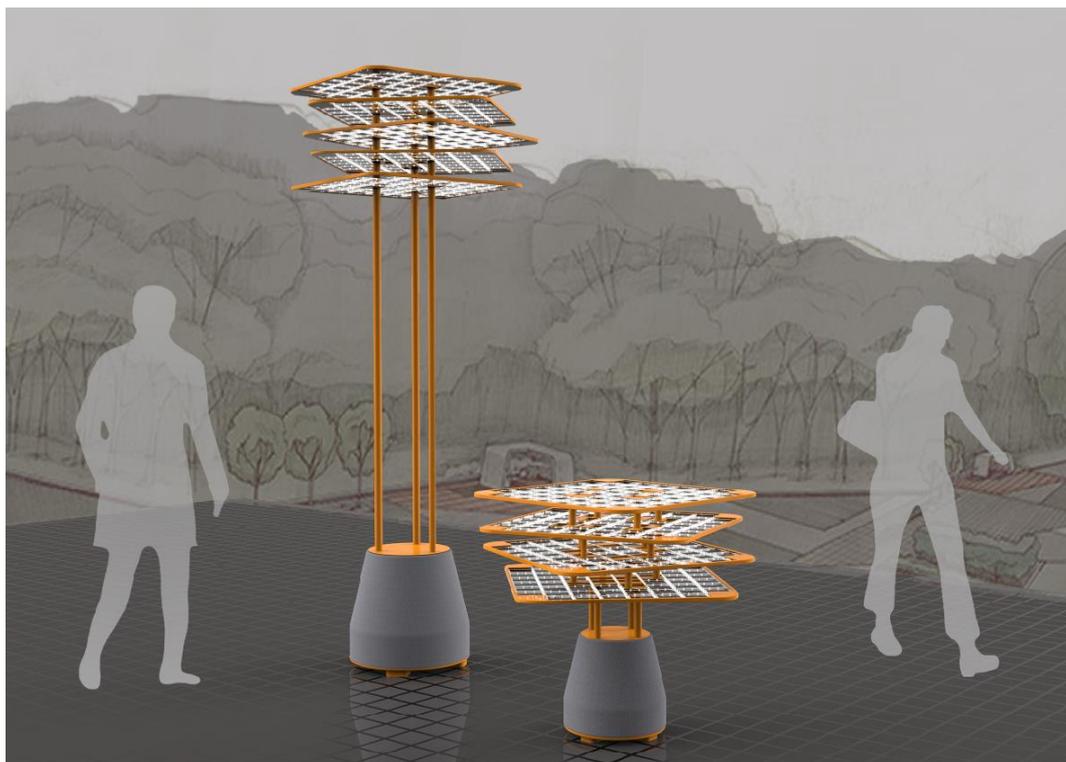


Рис. 1. Проект светодиодного светильника

Светильник представляет собой металлический каркас, к которому с двух сторон крепится пластиковая окантовка-диффузор со светодиодной лентой. По краю проходит профиль ПВХ. С помощью механических подвижных элементов и труб проводятся провода, это также может обеспечивать различные углы поворота и смещение каждого слоя относительно друг друга. Вся конструкция устанавливается на бетонное полное основание с блоком питания и проводами внутри. Съемная верхняя крышка позволит менять блок питания при необходимости, а нижняя перфорированная крышка и опоры обеспечивают вентиляцию воздуха для охлаждения блока питания.

Также светильник может быть представлен в разных цветовых решениях. В этом случае меняется цвет ПВХ профиля и цвет окраски металлических деталей.

Проект данного светодиодного светильника - это сочетание оригинального дизайна с высококачественным освещением, позволяющим оживить улицы парков и скверов.

### Литература

1. <http://www.atomsvet.ru/production/street/>
2. <http://www.orion-opora.ru/s-i/ulichnye-svetodiodnye-svetilniki>
3. <http://www.myhome.ru/journal/knowledge/176>
4. <http://www.led-pro.ru/street-lighting>
5. [http://www.mecelctrica.ru/catalogue/?catalogue\\_id=274](http://www.mecelctrica.ru/catalogue/?catalogue_id=274)

## СТОЛ ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ РАБОТЫ В СТУДЕНЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Ольга Андреевна Швецова,  
студентка 5 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: И.Н. Лысенко,  
ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»

Передо мной была поставлена задача разработки проекта стола для переговоров и коллективной работы в студенческой цифровой лаборатории (FabLab) в МГТУ им. Баумана.

Требование к объекту проектирования: удобство, дешевизна исполнения, возможность производства стола на оборудовании лаборатории, надежность конструкции, интересный дизайн.

Дизайн-исследование выявило, что сотрудники лаборатории находятся в постоянном движении – даже во время напряженной коллективной работы кто-то встает, чтобы что-то наладить в станке, взять что-то с рабочего стола или отправить почту с компьютера, расположенного в другом конце помещения. При этом отодвинутые от стола стулья полностью перекрывают узкие проходы.

С учетом проведенного анализа использования стола и выявленного динамического характера совместной работы сотрудников FabLab, мною был предложен вариант высокого стола для работы стоя.

В ходе размышления о механизме изменения высоты, было подмечено, что заданные габариты каждого модуля таковы, что если повернуть стол на торец, как раз и будет обеспечена необходимая высота стола для работы стоя. Найденное решение оказалось очень привлекательным, так как изменение высоты стола стало возможным без применения каких-либо механизмов подъема столешницы, что делает конструкцию максимально надежной.

Кроме того, полное исключение механических, движущихся деталей ведет к серьезному снижению себестоимости производства. Таким образом, вопрос свелся к поиску оптимальной для переверота формы основания стола и к нахождению простого механизма крепления столешницы к основанию.

Таким образом, конструкция основания представляет собой параллелепипед с закругленными углами, торцевые ребра которого образуют металлические трубы. Именно такая форма как бы подсказывает пользователю, как правильно нужно перевернуть основание, чтобы изменить высоту стола. Столешница, также выполненная из 20 мм фанеры, устанавливается на основание и крепится шкантами. При изменении высоты столешница снимается и затем устанавливается так же на шканты на уже перевернутое основание.

В дизайн-проекте, как мне кажется, удалось создать максимально простую и в то же время оригинальную конструкцию, отвечающую требованиям заказчика. Фанерные детали дешевы, доступны, легко фрезеруются, а все крепежные элементы стандартные и недорогие. Конструкция полностью отвечает духу движения FabLab – простота, легкость изготовления на станках лаборатории, креативность. Уверенна, что дизайн оправдает себя в реальных условиях ежедневной работы лаборатории, задаст новый, динамический тон работы, добавит творческой активности мозговым штурмам.



Рис. 1. Дизайн-решение.

### Литература

1. <http://jamlab.pro>
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. Каталог оборудования компании HAEFLE <http://russia.hafele.com>

#### 1. УДК 658.512.23

### РАБОЧЕЕ МЕСТО ОПЕРАТОРА ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ДЛЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Екатерина Михайловна Барсукова,  
*студентка 5 курса,*  
*кафедра «Промышленный дизайн»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Н. Лысенко,*  
*ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»*

Перед дизайнерами была поставлена задача создать рабочие места для FabLab МГТУ им. Н.Э. Баумана. FabLab – это небольшая цифровая лаборатория, оснащенная различным оборудованием, в том числе, станками с ЧПУ, предлагающая всем участникам изготавливать макеты, детали и прототипы.

По заданию объект проектирования должен удовлетворять ряду требований, таким как: универсальность, вариативность, модульность, простота, небольшой бюджет на изготовление, эргономичность, интуитивность. Кроме того, он должен быть воспроизводим в условиях лаборатории на имеющихся станках.

Моя задача заключалась в проектировании рабочего места для оператора фрезерного станка. Необходимо было разместить сам станок, освещение, видеокамеры, управляющий компьютер и пылесос для стружки. Ограничивающими факторами стали размеры помещения и невозможность использовать стены и потолок аудитории для крепежа. Рабочее место должно включать и зоны размещения дополнительного

оборудования. Главное, что я выделила в специфике мебели для FabLab, – это функциональность, простота и доступность.

Для оценки текущего состояния лаборатории было проведено наблюдение за работой оператора методом фото и видео съемки непосредственно в лаборатории МГТУ им. Баумана. Был выявлен целый ряд проблем, в результате чего техническое задание на разработку рабочего места оператора станка было существенно расширено и откорректировано.

Главная идея проекта – размещение рабочих поверхностей и осветительных приборов вокруг общей оси вращения, которая позволит менять геометрию объекта в случае работы с нестандартными размерами деталей или при транспортировке (рис.1).

Вертикальная пространственная ориентация проекта требует меньшей площади для установки большего количества оборудования. Оператору предлагается работать стоя у столешницы высотой 1100 мм, поскольку он постоянно ходит между станком и компьютером и фактически не имеет возможности сидеть.

С каждым днем сложность и многогранность поставленных перед промышленными дизайнерами задач возрастает, путь к оптимальному решению становится все более тернистым. Приходится не только создавать и развивать идею, но еще и отсекаать все ненужное. Моей главной проблемой при работе над этим проектом был именно компромисс между возможностью и желанием, перфекционизмом и работающим результатом. Искренне надеюсь, что мне удалось пройти по этой тонкой грани, не отдав предпочтение ни одной из сторон.

Проект был принят и одобрен сотрудниками лаборатории.



Рис.1. Дизайн-решение

## Литература

1. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда.
2. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
4. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. ГОСТ 12.4.026-76 ЦВЕТА СИГНАЛЬНЫЕ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ.
6. <http://jamlab.pro>
7. <http://www.docload.ru>
8. <http://hqroom.ru>
9. <http://www.electro-mpo.ru>
10. <http://s-awangard.ru>
11. <http://ru.wikipedia.org>
12. <http://www.makuha.ru/design/10.htm>
13. <http://www.helvetica-t.ru>
14. Каталог оборудования компании HAEFLE <http://russia.hafele.com>

**УДК 658.512.23**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ ЗОН ОТДЫХА**

Элина Николаевна Голубева,  
*студентка 6 курса,*  
*кафедра «Промышленный дизайн»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Н. Лысенко,*  
*ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»*

Светодиоды в качестве источников света используются сейчас почти повсеместно: как дома - в предметах мебели и интерьера или в качестве декора, так и на улице – в качестве паркового и уличного освещения.

Особенности светодиодов позволяют применять их в тех областях, в которых не применимы обычные лампы накаливания. Геометрия светодиодов и их малый размер позволяет использовать их группами – например, в светодиодной гибкой ленте или одиночно – на малых поверхностях.

Все существующие решения тяготеют к традиционному «ламповому» виду, не используют в полной мере особенностей светодиодов, их внешний вид не подчеркивает особенности осветительного элемента.

Учитывая все положительные и отрицательные качества светодиодного освещения, мною разработан эскизный проект уличного светодиодного светильника с гибкими светящимися панелями.

Светильник состоит из трех унифицированных каркасных деталей, на которых крепятся гибкие светодиодные полотна. В нижней части располагается блок питания. Технология изготовления и сборки не требуют значительных затрат.

В качестве материала для светильника были выбраны акриловые прозрачные листы (оргстекло), которые не препятствуют прохождению света, а отражают и преломляют его, усиливая эффект освещения.

Возможны различные компоновки светильников:

- Одиночная
- Сдвоенная – образуется пространство tet-a-tet,
- По четыре – образуется своеобразная беседка.

Во всех вариантах один из элементов конструкции каркаса может быть использован для создания сидения, за счет чего организуются освещенные места отдыха (рис.1).

Разработанный светильник отличается от всех существующих на рынке уличных светодиодных светильников. Он спроектирован с учетом новых возможностей светодиодного освещения, подчеркивает преимущества свечения, учитывает недостатки, создает необычную игру света и тени.

Светильник предназначен как для прямого использования, так и для организации пространства общения, ведь внутри его можно присесть и приятно провести время за беседой. Его можно установить в парках, скверах, дворах, коттеджных посёлках, на дачных участках.



Рисунок 1. Светодиодный уличный светильник в различных вариантах использования.

### Литература

1. Плюсы и минусы светодиодного освещения [Электронный ресурс]- Режим доступа <http://spbled.ru/led/2009-11-05-04-31-45/112-ledds.html>
2. Уличные светодиодные светильники – новый взгляд от компании «Церс» [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.metaprom.ru/industry489627.html>
3. Уличные светодиодные светильники СДКУ-31 [Электронный ресурс]- Режим доступа <http://www.snabenergo.ru/id-234/cid-199/catalog.html>
4. Каталог светодиодных светильников Philips [Электронный ресурс]- Режим доступа <http://www.philips.ru>.

## ИССЛЕДОВАНИЯ К ПРОЕКТУ МОДУЛЬНОГО РАБОЧЕГО МЕСТА

Элина Николаевна Голубева,  
студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.М. Михеева,  
ведущий преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»

В настоящее время в мире очень популярны различные виды ручного творчества. Для многих оно становится основной статьёй семейного дохода, потому что «хэнд мейд» востребован сегодня как никогда прежде. Актуальным вопросом становится оснащение рабочих мест для такого рода занятий. Для дизайнерской разработки важно определить, насколько универсальным должно быть рабочее место, чтобы им можно было удовлетворить как можно большее количество людей, занимающихся самыми разными видами творчества. Кроме того, необходимо учитывать, что большинство из них работает дома в стесненных условиях, кто-то уделяет этому свое основное время, а кому-то рабочее место требуется время от времени.

Рукоделие было популярно издавна, и проблема специальной мебели для него не оставалась без внимания. В музеях сохранились столики, создаваемые для мастериц в 18-19 веках, которые поражают как своей художественной ценностью, так и продуманной функциональностью.



Рисунок 1. Столики рукодельниц 18-19 веков.

Сейчас люди проводят много времени за столами, которые не отвечают необходимым требованиям. К оборудованию для ручного творчества должны быть применены особые подходы, так как это совершенно нестандартный вид деятельности. Продукция, производимая рукодельницами, пользуется спросом, оригинальна и необычна, чего не скажешь о рабочих пространствах, которые предлагаются для них на рынке. Как показало исследование, специализированная мебель в продаже отсутствует, эта ниша ничем не заполнена. Умельцы выходят из положения за счет приспособливания того, что уже имеется в доме, под собственные нужды. Поэтому

разработка оборудования для ручного творчества не только своевременна, но и может оказаться чрезвычайно востребованной.

По результатам исследований для предстоящего проекта сделан ряд выводов:

- Мебель должна быть трансформируемой, чтобы пользователи имели возможность разворачивать и убирать свое рабочее пространство по необходимости.
- Мебель должна быть в достаточной степени универсальной, чтобы удовлетворять нужды людей, занимающихся самыми разными видами творчества.
- Мебель должна быть модульной и состоять из набора унифицированных взаимозаменяемых элементов, чтобы пользователь мог подобрать необходимый ему комплект и сформировать собственное рабочее место с максимально удобным результатом.

### Литература

1. В. Папанек «Дизайн для реального мира» - 3-е изд.-изд. Д. Аронов, 416 с.
2. Особенности производства и декора трансформируемая мебель [Электронный ресурс]- Режим доступа [http://www.lignaur.ru/pages.htm?id\\_page=590](http://www.lignaur.ru/pages.htm?id_page=590)
3. Как будет выглядеть мебель в будущем [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.rusarticles.com/mebel-statya/kak-budet-vyglyadet-mebel-v-budushhem-5715853.html>
4. Стол-тумба для вязальной машины[Электронный ресурс]- Режим доступа [http://www.igra-v-biznes.okis.ru/table\\_vz.html](http://www.igra-v-biznes.okis.ru/table_vz.html)
5. Как правильно оборудовать место для рукоделия? Идеи, чертежи. [Электронный ресурс]- Режим доступа <http://www.liveinternet.ru/users/3924481/post297278430/>
6. Плюсы и минусы светодиодного освещения [Электронный ресурс]- Режим доступа <http://spbled.ru/led/2009-11-05-04-31-45/112-ledds.html>
7. Уличные светодиодные светильники – новый взгляд от компании «Церс»[Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.metaprom.ru/industry489627.html>
8. Уличные светодиодные светильники СДКУ-31[Электронный ресурс]- Режим доступа <http://www.snabenergo.ru/id-234/cid-199/catalog.html>
9. Каталог светодиодных светильников Philips [Электронный ресурс]- Режим доступа [http://www.philips.ru/c/choose-your-luminaire/269532/dec/ru/#filterState0=CONCEPT\\_LEDINO\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_ECOMOODS\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_LIVINGCOLORS\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_CANDLES\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_LIGHTSTRIPS\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_MYLIVING\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_INSTYLE\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_MYHOMEOFFICE\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_KIDSROOM\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_MYGARDEN\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT\\_SMARTSPOT\\_SU\\_RU\\_CONSUMER%3Dtrue%2CFK\\_CL\\_EXTRA\\_FEATURES\\_ROOM\\_BED\\_LIVING\\_ROOM%3Dtrue%2CFK\\_GENERIC\\_GREEN%3Dtrue;compareState0=id0%3D%2Cid1%3D%2Cid2%3D%2CcompareView%3Dfalse;productState0=page%3D1%2Csort%3Dsubcat\\_asc\\_group;tabState=0%3Dundefined](http://www.philips.ru/c/choose-your-luminaire/269532/dec/ru/#filterState0=CONCEPT_LEDINO_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_ECOMOODS_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_LIVINGCOLORS_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_CANDLES_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_LIGHTSTRIPS_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_MYLIVING_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_INSTYLE_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_MYHOMEOFFICE_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_KIDSROOM_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_MYGARDEN_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CCONCEPT_SMARTSPOT_SU_RU_CONSUMER%3Dtrue%2CFK_CL_EXTRA_FEATURES_ROOM_BED_LIVING_ROOM%3Dtrue%2CFK_GENERIC_GREEN%3Dtrue;compareState0=id0%3D%2Cid1%3D%2Cid2%3D%2CcompareView%3Dfalse;productState0=page%3D1%2Csort%3Dsubcat_asc_group;tabState=0%3Dundefined)



## **Секция X**

### **Оборудование и технологии прокатки**

Председатель: **Семенов Иван Евгеньевич**, д.т.н., профессор кафедры  
«Оборудование и технологии прокатки» (МТ-10)

Ученый секретарь: **Шинкарев Александр Сергеевич**, ассистент кафедры  
«Оборудование и технологии прокатки» (МТ-10)

## **ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ В МГТУ ИМ.Н.Э.БАУМАНА.**

Евгений Константинович Васильев,  
*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»*  
*Т.Ю. Комкова,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Большие преимущества холоднодеформированных труб (повышенная точность геометрических размеров, высокая чистота внутренней и наружной поверхности, возможность получения особотонкостенных труб и труб переменного сечения) вызывают большой спрос в общем объеме прокатного производства.

Однако наиболее распространенные станы холодной прокатки обладают низкой производительностью.

Работа над созданием высокопроизводительных непрерывных процессов получения точных труб малого диаметра началась еще в конце пятидесятых - начале шестидесятых годов под руководством академика Александра Ивановича Целикова.

Исследования проводились в МВТУ им Н.Э. Баумана по заданию и совместно с ВНИИМЕТМАШ. Одной из первых следует отметить работу по непрерывной холодной прокатке конденсаторных труб из медных и латунных прессованных заготовок. Были определены основные технологические параметры процесса прокатки на длинной оправке и предложен способ прокатки на неподвижных ступенчатых оправках, проведены замеры усилия и момента прокатки.

Опытная прокатка труб на непрерывном 12-ти клетевом стане была проведена в начале шестидесятых годов. Был реконструирован непрерывный проволочный стан, создано устройство для удержания и регулирования положения неподвижной оправки, мерилось осевое усилие на оправку. Использовалась та же латунная заготовка, что и при прокатке на длинной оправке. Исследования подтвердили жизнеспособность указанного способа.

Успешная эксплуатация стана для прокатки труб из цветных металлов и сплавов и положительные результаты лабораторных исследований позволили перейти к разработке непрерывного стана для прокатки стальных труб. Использование одного такого стана смогло бы заменить 10-15 станов холодной прокатки труб аналогичного сортамента.

Исследования при участии сотрудников кафедры были продолжены и подтвердили принципиальную возможность осуществления высокопроизводительного процесса непрерывной прокатки холоднодеформированных труб из углеродистых сталей.

Вторым направлением являлось исследование и внедрение непрерывных способов волочения труб. В МВТУ им. Н.Э. Баумана был разработан первый отечественный стан непрерывного волочения "МВТУ-5". Непрерывность процесса достигается применением подающе-тянущих механизмов в виде двух бесконечных цепей, расположенных одна над другой. Однако использование такой схемы

существенно ограничило возможности стана: волочение тонкостенных, профильных труб, а также волочение на короткой оправке было невозможно из-за большой вероятности смятия трубы.

Новым направлением в создании непрерывного производства холоднокатанных труб явилось использование клетей поперечно-винтовой прокатки.

Предлагаемая технология получения высокоточных труб малого диаметра для машиностроения предусматривает редуцирование стенки трубы с необходимой дробностью размеров по диаметру на планетарном стане холодной поперечно-винтовой прокатки и в клетях продольной прокатки. При реализации такой схемы прокатки деформация по диаметру и стенке разделяется. Таким образом направление течения металла чередуется, что не только значительно влияет на свойства готовых труб, но и задерживает образование продольной текстуры, благодаря чему повышается технологическая пластичность материала.

Наличие в непрерывном процессе элементов поперечно-винтовой прокатки позволяет существенно повысить точность и качество получаемых труб, а также достичь значительных деформаций по толщине стенки.

Последние десять лет из-за экономической ситуации в России это направление практически не развивалось. Однако учитывая приоритет России в этой области, перспективность процесса, целесообразно на основе существующих разработок внедрять высокопроизводительные непрерывные процессы холоднодеформированных труб.

## Литература

1. Соколова О.В., Комкова Т.Ю., Молчанов А.П. История создания непрерывных станов для производства холоднодеформированных труб в МГТУ им Н.Э.Баумана. «Заготовительные производства» №6, 2004.

**УДК 577.11**

## МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СЕГОДНЯ

Дмитрий Игоревич Войстроченко,  
студент 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Научный руководитель: Т.Ю. Комкова, О.В. Соколова.  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Вторая волна финансового кризиса накрывшая мировую металлургическую промышленность в 2012 году пошла на спад и в 2014 году ожидается восстановление цен и потребления металлопродукции.

Сталь является одним из наиболее важных материалов в мире и присутствует повсеместно в нашей жизни. Она используется практически во всех сферах, таких как здания, транспортные средства или даже консервные банки, которые сохраняют еду. Состояние дел в сталелитейной промышленности часто рассматривается как важный экономический показатель, так как она всегда идет рука об руку с экономическим развитием страны или региона.

Мировая выплавка стали выросла с 851 млн. тонн в 2001 году до 1548 млн. тонн в 2012 году. Тем не менее, несмотря на свой размер, сталелитейная промышленность остается относительно нестабильной в сочетании с высокой цикличностью производства.

В 2012 году продолжился системный кризис в еврозоне, поэтому сегодня происходит медленный рост спроса в странах с развитой экономикой. Рост китайской экономики, которая в последние годы была одним из основных потребителей стали, также несколько замедлился. Эти сложные экономические условия продолжались и в 2013 году, препятствуя перспективам металлургической отрасли.

В работе приведен детальный анализ металлургической промышленности по последним статистическим данным на 2014 год. В качестве объектов изучения выступили крупнейшие страны-производители черной и цветной металлургии: Россия, Китай, Япония, Индия и США. На основе полученных сведений выявлены проблемы данной отрасли промышленности, основные пути развития, а также приведен прогноз динамики металлургического производства. Кратко освещены особенности и проблемы производства в той или иной стране. Рассмотрена металлургическая продукция, пользующаяся наибольшим спросом на мировом рынке промышленной торговли.

### **Литература**

1. Семенов С. К вопросу о разработке концепции развития металлургического комплекса РФ // *Металлоснабжение и сбыт*, 2011 - №6
2. Сайты: <http://www.steeland.ru>; <http://www.worldsteel.org>; <http://www.rusmet.ru>;

**УДК 669.019.02/09**

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ТО И Р МНЛЗ АНРИПСИС (МЗ ЭЛЕКТРОСТАЛЬ)**

Денис Юрьевич Дронов,  
*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 изучения и теоретического исследования является машина непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) агрегата непрерывной разливки и прокатки стали и сплавов (АНРиПСИС), расположенного в сталеплавильном цехе №3 (СПЦ-3) металлургического завода «Электросталь» (ОАО МЗ «Электросталь»). В здании цеха СПЦ-3 размещен только один агрегат АНРиПСИС, который производит бунтовый прокат круглого профилера размера  $\varnothing 8...10$  мм, как поставляемый заказчику, так и потребляемый внутри завода прокатным цехом №2 (ПЦ-2). Производство характеризуется сложностью марочного состава, включающего высоколегированные нержавеющие, жаропрочные и коррозионностойкие и прецизионные сплавы.

Кроме МНЛЗ агрегат АНРиПСИС включает в себя две индукционные установки, задающую и планетарные клетки, шестиклетьевую группу с моталкой (рис.1).

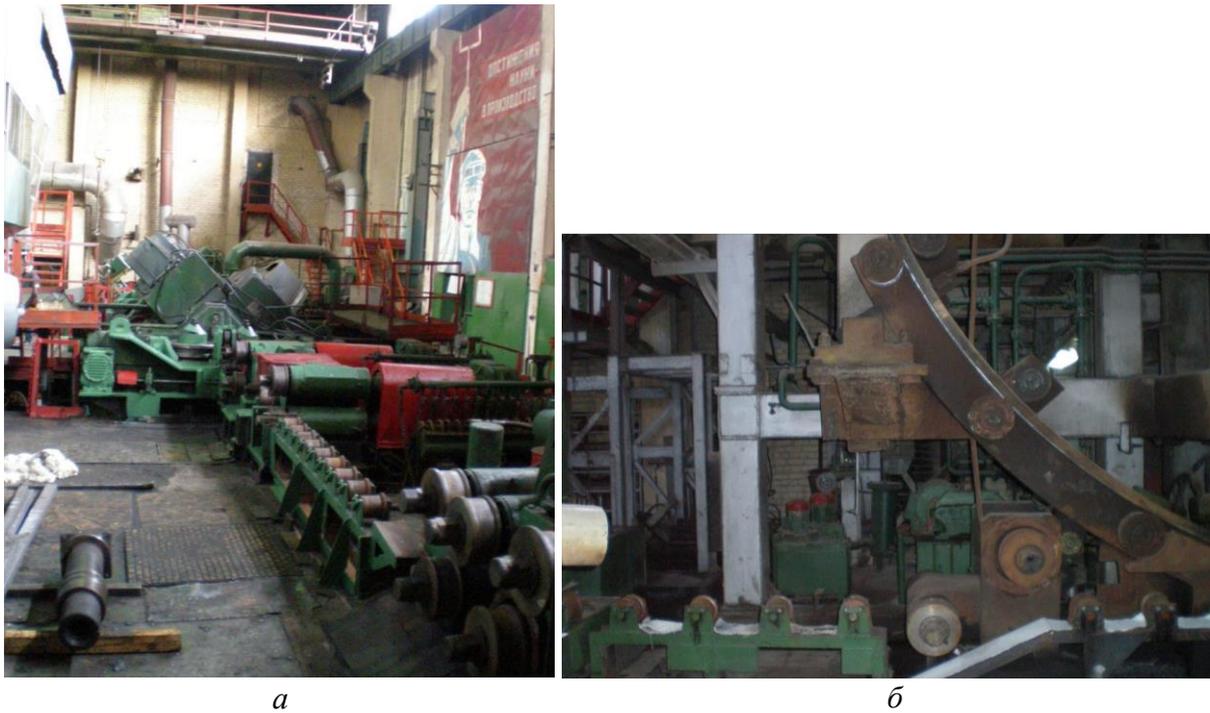


Рис 1. Агрегат АНРиПСиС: *a* — вид на планетарный стан 100; *б* — вид на МНЛЗ

МНЛЗ радиального типа производит заготовку  $60 \times 80$  мм в виде непрерывно-литого слитка (рис. 2).

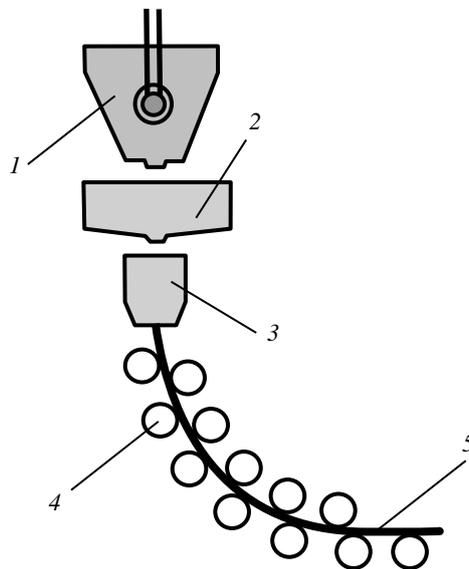


Рис. 2. Радиальная МНЛЗ: 1 — сталеразливочный ковш; 2 — промежуточный ковш; 3 — кристаллизатор; 4 — рольганг; 5 — непрерывно-литой слиток

МНЛЗ работает следующим образом. Выплавленную сталь выпускают из сталеплавильной печи в сталеразливочный ковш, который удерживается за две цапфы литейным краном. Через отверстие на дне сталеразливочного ковша жидкий металл поступает в промежуточный ковш, где осуществляется подогрев, перемешивание и дополнительное легирование металла. После открытия стопора промежуточного ковша металл через сливное отверстие поступает в кристаллизатор, в котором застывают стенки отливки и на ней образуется корка. Формирующийся непрерывно-литой слиток с еще жидкой сердцевиной медленно вытягивается из кристаллизатора на рольганг, представляющий собой дуговой участок ручья.

Рольганг состоит из массивных холостых роликов и форсунок, подающих охлаждающую воду на поверхность непрерывно-литого слитка. Ролики предохраняют слиток от выпучивания его корочки вследствие высокого давления. В результате интенсивного охлаждения корочка быстро твердеет и нарастает.

После выхода на прямолинейный участок непрерывно-литой слиток (заготовку) разрезают ножницами на мерные длины.

Непрерывно-литой слиток, полученный на МНЛЗ, благодаря своей сравнительно малой толщине и быстрому затвердеванию отличается меньшей химической неоднородностью, более равномерным распределением неметаллических включений, чем слиток, застывший в изложнице. Поверхность непрерывно-литого слитка более чистая и гладкая, хотя может содержать поверхностные и внутренние трещины.

Главная задача МНЛЗ — производство качественного непрерывно-литого слитка, а главная задача технического обслуживания и ремонтов (ТО и Р) этой МНЛЗ — обеспечение безаварийной работы оборудования.

Несмотря на совершенствование оборудования и технологий, число аварий и уровень травматизма на МНЛЗ остаются высокими.

При эксплуатации МНЛЗ могут возникнуть следующие аварийные ситуации, обусловленные недостатками конструкции (табл.)

Таблица. Виды аварий МНЛЗ и мероприятия по их устранению

Авария	Причины	Устранение и ремонт
Перелив металла через верх кристаллизатора	Невнимательность разливщика	Остановить ручей, очистить кристаллизатор от остатка наплыва
Отрыв затравки от заготовки	Преждевременный пуск ручья, износ головки затравки, перерыв струи	Остановить ручей, вывести затравку
Проход металла через футеровку промежуточного ковша	Износ футеровки, перегретый металл	Закрыть шиберный затвор стальной ковша, переместить промежуточный ковш в резервное положение
Зависание слитка в кристаллизаторе	Прилипание (приварка) корочки слитка, вызванная засорением канала охлаждения кристаллизатора	Кратковременно остановить машину с перекрытием подачи металла в кристаллизатор, затем запустить с малой скоростью

Неполноценная струя металла, вытекающая из стакан-дозатора	Образование «козелка» в канале стакан-дозатора кислородом	Прожечь канал стакан-дозатора кислородом
Прорыв металла под кристаллизатором	Зависание корочки слитка в кристаллизаторе	При резком понижении уровня металла в кристаллизаторе, хлопках, появлении зеленого пламени под кристаллизатором прекратить подачу металла, продолжить извлечение бьюма после прорыва, чтобы избежать его застывания внутри машины

Во избежание вышеперечисленных аварийных ситуаций необходимо принять комплекс мер, среди которых основную роль играет правильная организация ТО и Р оборудования МНЛЗ с установкой современной аппаратуры для диагностики его технического состояния (ТС).

Во время прохождения студентами производственной практики в СПЦ-3 было установлено, что основной причиной простоев АНРиПСиС является прорыв металла на выходе из кристаллизатора.

Анализ формирования непрерывно-литой заготовки показал, что расплавленный шлак попадает между формирующейся коркой сляба и стенками качающегося кристаллизатора. Этот шлак — отличная смазка, не дающая корке сляба прилипнуть к стенкам кристаллизатора. Струя жидкого металла (1450<sup>0</sup>С) способна размывать корку, в результате чего корка местами прилипает к стенкам кристаллизатора. В корке образуются трещины, приводящие, в лучшем случае, к браку непрерывно-литого слитка, а в худшем случае — к прорыву жидкого металла на выходе из кристаллизатора, что является серьёзной аварией, требующей ремонта оборудования. Поэтому профилактика прорывов вызывает огромный интерес [1,2].

Для уменьшения трения между непрерывно-литой заготовкой и стенками кристаллизатора подается смазка в виде разнообразных масел или парафина. Локальные прилипания корки к стенкам кристаллизатора также можно избежать путем добавления подачи шлака. В случае возникновения прилипания увеличивается сила, приложенная к кристаллизатору со стороны непрерывно-литой заготовки; эту силу предлагается измерять тензометром.

Кроме того, предлагается применять термодары, установленные по высоте кристаллизатора, и тепловизоры для контроля температурного поля непрерывно-литой заготовки на выходе из кристаллизатора.

В работе предлагается заменить гильзовый кристаллизатор на сборный. Гильзовый кристаллизатор, установленный на МНЛЗ, изготовлен из медной цельнотянутой трубы. В отличие от него, сборный кристаллизатор имеет четыре медные рабочие стенки, каждая из которых крепится шпильками к жесткой стальной плите. Конструкция сборного кристаллизатора позволяет варьировать поперечный размер непрерывно-литой заготовки путём перемещения стенок.

Для организации безопасной работы оборудования и агрегатов на

металлургическом предприятии создается система управления промышленной безопасностью, обеспечивающая выполнение ряда организационных и технических мероприятий, направленных на своевременное выполнение требований промышленной безопасности, мониторинг технического состояния оборудования и агрегатов и снижение риска возникновения аварий. Благодаря прогрессу в развитии технологий МНЛЗ всё более автоматизированы и механизированы: большинство средств управления вынесены на безопасные участки, благодаря множеству различных датчиков (конечные выключатели, командоаппараты, магнитогерконовые датчики, фотореле, радиоактивные датчики), термоизмерительных зондов, а также современных вычислительных средств стало возможным производить максимальный анализ готовности оборудования и протекания процесса разлива стали [3].

### Литература

1. Пиксаев А.В., Хребто В.Е., Бодяев Ю.А., Вдовин К.Н. Механизм качания кристаллизатора слывовых МНЛЗ. Конструирование и расчет. Монография. — Магнитогорск: МГТУ, 2001. — 87 с.
2. Бирюков А.Б. Современные аспекты теплового мониторинга работы МНЛЗ // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 7-8. – С. 37-40.
3. Лубнин И. И. Разработка основных положений концепции роботизации МНЛЗ. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – № гос. регистрации 0321300796. – URL: [studvesna.qform3d.ru/?go=articles&id=783](http://studvesna.qform3d.ru/?go=articles&id=783) (дата обращения: 10.03.2014).

УДК 621.774.21

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КЛЕТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ТРУБ ИЗ СТАЛЕЙ ВЫСОКОГО КЛАССА ПРОЧНОСТИ

Даниил Андреевич Иконников,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В связи с активным развитием нефтегазовой добывающей промышленности возрос спрос на прямошовные сварные трубы различного сортамента.

Условия эксплуатации предполагают наличие низких температур, высокого давления и агрессивных сред. К трубам предъявляются высокие требования по физическим характеристикам, химическому составу, точности формы и размеров, качеству поверхности готового изделия. Для обеспечения необходимых свойств продукции металлургическим заводам приходится переходить на производство из трубных марок сталей с высоким классом прочности. При таком переходе не всегда обеспечивается устойчивость процесса формовки, а как, следствие, требуемое качество производимых труб.

В данной работе проведен анализ существующих способов получения электросварных прямошовных труб, способов модернизации современных формовочных станов для обеспечения устойчивости процесса формовки труб из сталей высокого класса прочности [1].

В результате анализа сделан вывод о том, что при создании современного формовочного оборудования обеспечение устойчивого процесса формовки в основном достигается разработкой нового рабочего инструмента. Конструкции же формовочных клетей, а также конструкции узлов осей валков, не претерпевают каких-либо серьезных изменений. Однако способность воспринимать нагрузку в процессе формообразования и влиять на устойчивость процесса во многом зависит именно от конструкции узлов и клетей. [2] В первую очередь это касается трубоэлектросварочных станов для производства труб среднего и большого диаметра, где это влияние особенно заметно.

В данной работе с помощью системы параметрического проектирования Autodesk Inventor Professional 2014 разработаны физические модели и проведен анализ нагружения валковых систем клетей различных типов. Моделировались узлы валков клетей, предназначенных для производства нефтегазопроводных труб, с наружным диаметром 273 мм, толщиной стенки 7 мм.

При анализе валковой системы клетки с открытым типом калибра максимальное суммарное смещение, полученное в результате расчета, составляет около 0,24 мм (рис. 1), а при анализе валковой системы клетки гибкой формовки (рис. 2) – 0,32 мм, что сопоставимо с величиной допусков на размеры готовой трубы ( $\pm 0,5$  мм).

В клетях гибкой формовки прогиб валковой системы больше, но в конструкции данного типа есть возможность компенсировать смещения регулировками валкового инструмента.

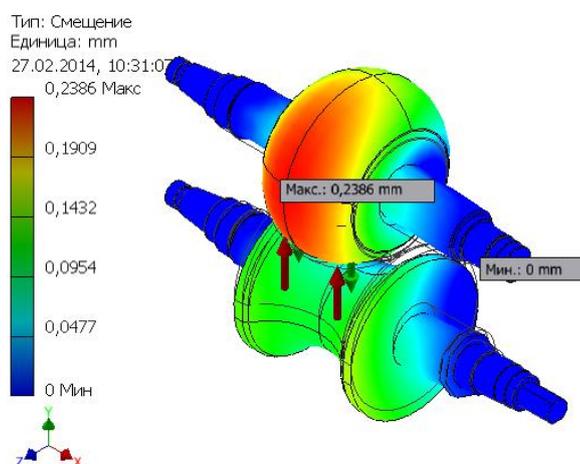


Рис. 1. Смещения в валковой системе клетки с открытым типом калибра

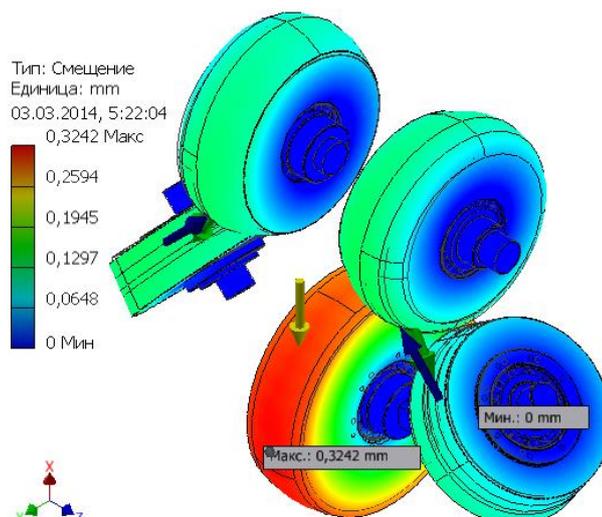


Рис. 2. Смещения в валковой системе клетки гибкой формовки труб

Проведенный анализ рассмотрен только для одной формовочной клетки. Смещения будут возникать во всех клетях формовочного оборудования. В результате не будет создан монотонный очаг деформации (что является одним из критериев устойчивого процесса формовки). В результате из-за низкой точности формовки не будет достигнуто требуемое качество производимых труб.

Для создания устойчивого процесса формовки, нужно на этапе создания нового оборудования учитывать смещения, возникающие в валковых системах. При создании нового оборудования использовать укороченные оси валковых систем, которые будут обеспечивать минимальный прогиб узла валка, при разработке калибров учитывать их перемещение от деформирующих сил при формовке.

### Литература

1. *Иконников Д.А.* Реконструкция стана для прямошовной валковой формовки. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – № гос. регистрации 0321300796. – URL: [studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=855](http://studvesna.qform3d.ru/go=articles&id=855) (дата обращения: 17.12.2013). – Загл. с экрана.
2. *Соколова О.В., Лепестов А.Е.* Формообразование трубных профилей. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №7, июль 2010.

УДК 621.762.4.04

### ПРОКАТКА МНОГОСЛОЙНОГО СТАЛЬНОГО ЛИСТА С НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ

Кока Иосифович Кикозашвили,  
 студент 5 курса,  
 кафедры «Оборудование и технологии прокатки»,  
 Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Шинкарев,  
 ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Порошковая проволока решает проблему дозированного ввода реагентов, обеспечивает высокое и стабильное их усвоение, уменьшает расход реагентов на единицу выплавленного металла, что обеспечивает прямой экономический эффект на уменьшение себестоимости переработки стали. Таким образом, применение порошковой проволоки с различными наполнителями становится основным технологическим инструментом получения стали с минимальными затратами на агрегате ковш-печь. Способ внепечной обработки расширяет возможности комплексной технологии, позволяет более полно использовать высокоактивные реагенты многофакторного воздействия (кальций, модификаторы с редко земельными металлами). Использование порошковой проволоки дало возможность в виде наполнителя использовать механически смеси такие как Fe+Ca, Al+Ca. Важно отметить, что появился ряд специальных качественных сталей, которые могут быть получены только с использованием порошковых проволок – это прежде всего, стали с нормируемым содержанием кальция.

Проведем приблизительный расчет себестоимости порошковой проволоки. Цену кускового феррованадия принимаем близкой к реальной в настоящее время  $P_{\text{куск}} = 810000$  руб. Курс доллара США  $K = 36$  руб. Для упрощения расчёта принято, что помолу подвергается данный кусковый феррованадий (затраты на помол  $P_{\text{мол}} = 5000$  руб./т ферросплава).

Цена наполнителя в проволоке (с учётом помола данного кускового феррованадия) стоимость 1 т феррованадия:

$$P = \frac{P_{\text{куск}} + P_{\text{мол}}}{K} = (810000 + 5000) : 36 = 22639 \frac{\text{дол.США}}{\text{т}};$$

В 1 т порошковой проволоки содержится 717 кг феррованадия FeV80 стоимостью:  $P_{\text{FV}} = 22639 \cdot 0,717 = 16232$  дол. США.

Стоимость оболочки проволоки (лента из стали 08пс):  $P_{\text{об}} = 274$  дол. США;

Затраты по переделу (изготовление проволоки):  $P_{\text{перед}} = 419$  дол. США;

Себестоимость 1 т порошковой проволоки

$$S = P_{\text{FV}} + P_{\text{об}} + P_{\text{перед}} = 16232 + 274 + 419 = 16925 \text{ дол. США.}$$

При рентабельности  $R = 5\%$  цена порошковой проволоки составит

$$P_{\text{пр}} = 16925 \cdot 1,05 = 17771,25 \frac{\text{дол.США}}{\text{т}}.$$

Для металлургических предприятий СНГ в сложившихся экономических условиях применение порошковой проволоки при внепечной обработке металла создает возможности без значительных капитальных вложений решать задачи обеспечения требуемого качества металла, расширение сортамента и конкурентоспособности производимой продукции, и достижения реальной снижения себестоимости переработки стали.

## Литература

1. Бабич Б.Н., Вершинина Е.В., Глебов В.А. и др. Металлические порошки и порошковые материалы: Справочник. М.: ЭКОМЕТ, 2005.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ

Комков Александр Евгеньевич,  
*аспирант 1 года, кафедра «Технологии и оборудование прокатки»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Соколова Ольга Вадимовна  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование прокатки»*

В работе приведены основные этапы реконструкции вспомогательного оборудования станов холодной периодической прокатки

Можно выделить несколько наиболее важных конструктивных отличий между вспомогательным оборудованием старой конструкции и конструкции разработки ВНИИМЕТМАШ в которой автор принимал непосредственное участие:

1) Вспомогательное оборудование производства ВНИИМЕТМАШ имеет меньшие габариты и все, что делает изготовление, установку и использование более легким, технологичным и экономически выгодным.

2) В старом оборудовании для всех движений вспомогательного оборудования используется гидравлическая система, в оборудовании нового образца – пневматическая.

Пневматическая система имеет ряд существенных преимуществ перед гидравликой для такого оборудования:

- легкость настройки, ремонта;
- экономическая выгода;
- экологичность;

3) Усовершенствованный патрон подачи и поворота стержня оправки.

4) Усовершенствованные ролики рольганга из полиуретана СКУ-7Л.

Из вышеперечисленных пунктов можно сделать вывод, что для небольших станов ХПТ нецелесообразно устанавливать громоздкое оборудование, с технически сложной гидравлической системой, поэтому я остановил свой выбор вспомогательного оборудования для своего стана на оборудовании меньших габаритов и веса, с использованием пневматической системы, модернизированного патрона зажима стержня оправки и роликов рольганга.

### Литература

1. Соколова О.В., Стоша Н.Е., Ионов И.И. Станы для производства холоднодеформированных труб//Машиностроение: энциклопедия/ 2-е изд/ под ред. К.В.Фролов, 2005. – С. 640-652.
2. Соколова О.В., Комков А.Е. Способы производства прецизионных труб. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №6, 2011.

## СНИЖЕНИЕ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ НА СТАНЕ ХПТ

Лагошина Елена Владимировна,  
*аспирант 2 года,*  
*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Станы ХПТ используются для получения высококачественных труб. Одной из причин брака при прокате труб являются возникающие осевые усилия. Они могут привести к смятию заготовки во время прокатки, врезание торцов заготовки друг в друга, налипание металла на калибр и оправку.

Основной причиной возникновения осевых усилий является несоответствие выбранного катающего радиуса «естественному». Прокатка проходит с постоянным принудительным катающим радиусом, равному радиусу делительной окружности ведущей шестерни, но «естественный» катающий радиус меняется по всей длине хода клетки.

Значительное снижения осевых усилий можно получить максимально приблизив «естественный» катающий радиус к принудительному. Для это использовались различные методы: перемещение рейки, но в этом случаи возникают дополнительные динамические нагрузки и величина катающего радиуса остается одинаковой при прямом и обратном ходах; шестерни с дробным числом зубьев, в этом случаи ограничен угол поворота шестерни и катающий радиус остается постоянной величиной; эксцентриковая установки шестерни на вал, но это возможно только при прокатке определенного узкого диапазона размера труб; некруглые шестерни, но тогда калибр рабочего вала нарезается такой же формы как и ведущая шестерня; рычажный механизм перемещения, но это приводит к значительному повышению динамической нагрузки; станы с холостым обратным ходом, но при этом снижается производительность и усложняется конструкция стана; реечно-зубчатый передача с переменным шагом и углом наклона зубьев по всей длине рейки, однако при использовании такой передачи произойти либо ее заклинивание, либо замыкание с ударом при переходе на каждую последующую пару зубьев шестерни и рейки.

В работе представлена новая конструкция зубчато-реечного привода вала. Исследования проводились на базе ОАО «АХК ВНИИМЕТМАШ» Привод состоит из круглой шестерни и находящейся с ней в зацеплении неподвижной рейки с переменным шагом. Шаг рейки увеличивается вместе со значением «естественного» катающего радиуса. Боковые поверхности зубьев рейки выполнены в зоне взаимного контакта с боковыми поверхностями зубьев шестерни как сопряженные поверхности, образующиеся при обкатке, имеющей переменный радиус центроиды круглой шестерни по центроиде рейки. Благодаря этому радиальная координата центроиды шестерни на участке, соответствующем прокатке трубы, величина переменная и равна естественному катающему радиусу, то есть центроида определенным образом связана с геометрическими параметрами переменного ручья нарезанного на валке. Такой закон изменения центроиды в совокупности с боковой поверхностью зубьев рейки позволяет значительно снизить осевые усилия, возникающие в заготовке при прокатке. Изготовить

такую рейку можно на обычном реечном зубодробительном станке с использованием специального приспособления для нарезки рейки с переменным шагом.

При работе стана с рейкой новой конструкции было замечено повышение нагрузки на некоторые узлы стана. С целью проверки методики расчета катающего радиуса был проведен эксперимент. Анализируя полученные экспериментальные данные, был сделан вывод что значения катающего радиуса сильно занижено, особенно в начальных сечениях обжимной зоны. В настоящее время ведется разработка новой методики, позволяющей приблизить расчетное значение катающего радиуса к выделенному экспериментальному значению.

### Литература

1. Соколова О.В., Вердеревский, Мерзляков В.Д. Повышение эффективности процесса холодной прокатки труб «Сталь». №7.2000.
2. Соколова О.В., Комков А.Е. Способы производства прецизионных труб. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №6, 2011.
3. Соколова О.В., Стоша Н.Е., Ионов И.И. Станы для производства холоднодеформированных труб// Машиностроение: энциклопедия/ 2-е изд/ под ред. К.В.Фролов, 2005. – С. 640-652

**УДК 621.771.06**

### МАШИНЫ ДЛЯ РАЗРЕЗАНИЯ СЛИТКОВ И ПРОКАТА

Левина Диана Дмитриевна,  
*студент 3 курса, бакалавриат,*  
*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»*

Среди всех видов металлургического оборудования разрезающие машины занимают особое место. Как правило, они отличаются сложностью кинематики, динамичностью действия протекающих процессов, наличием автоматических систем управления синхронизацией и отмером отрезаемого изделия и зачастую определяют технический уровень металлургических агрегатов по производительности и качеству готовой продукции.

Для разрезания на мерные заготовки слитка, выходящего из машины непрерывного литья, широко используют гидравлические ножницы. Для этих же целей могут применяться ножницы с электромеханическим приводом. Отличительной способностью таких ножниц является стационарный привод, в котором применен маховик с муфтой включения на рез, что позволило существенно снизить мощность установленного электродвигателя. Однако ножницы со стационарным приводом имеют относительно большой габарит по ширине, что затрудняет применение их в линиях МНЛЗ, осуществляющих разливку в несколько ручьев. Тогда была проработана конструкция эксцентриковых маятниковых летучих ножниц с электромеханическим приводом, встроенным непосредственно в механизм резания. Такое техническое решение позволяет существенно уменьшить габарит ножниц и дает возможность вписать их в межручьеовое пространство.

В случаях, когда требуется высокое качество торцов товарных заготовок или прокатных профилей, разрезание их в технологическом потоке металлургических агрегатов осуществляют пилами. Производительность лучших салазковых пил не превышает 12000 мм<sup>2</sup>. Применение роторных пил позволяет увеличить производительность в 10 и более раз.

Широко распространенной операцией на заводах обработки цветных металлов является разделение круглых слитков из меди и ее сплавов, а также алюминия на короткие заготовки для последующего прессования. Это, как правило, осуществляется путем разрезания слитка дисковыми пилами. Данный способ связан с образованием отходов в виде стружки, доля которых довольно высока при относительно коротких заготовках, что в связи с высокой стоимостью цветных металлов повышает производственные издержки. Чтобы избежать этого был разработан способ разделения круглых слитков из цветных металлов путем пластического деформирования без образования стружки с использованием в качестве инструмента тонких дисков, которые обкатывают неподвижный слиток, одновременно приближаясь к его оси.

Для разрезания движущегося полосового проката наиболее простыми являются ножницы барабанного типа. Для снижения усилия резания и динамических нагрузок были созданы барабанные ножницы с наклонным расположением ножей.

Надежность работы агрегатов продольной резки полос в значительной степени зависит от надежности системы кромкоудаления. Обычно на дисковых ножницах для полос толщиной более 2 мм удаление отрезанных кромок обеспечивается их дроблением на кромкокрошительных ножницах, устанавливаемых за дисковыми ножницами. С целью повышения надежности процесса удаления кромок предложен и реализован в промышленности способ их обрезания на дисковых ножницах с одновременным дроблением клиновыми ножами. Клиновые ножи закрепляются на оправке рядом с нижним дисковым ножом, и дробление происходит за счет внедрения их в отрезаемые кромки, прилегающие к верхним дисковым ножам.

На большинстве средне- и крупносортовых станов для обеспечения хорошего качества торцов фасонных профилей их разрезание на мерные длины осуществляют салазковыми пилами, стойкость инструмента которых невысокая. Кроме того, их применение связано с повышенным производственным шумом, засорением цеха разлетающейся стружкой и требует больших площадей. Сортовые ножницы холодной резки позволяют устранить указанные недостатки, обеспечивая высокое качество реза. Ножницы являются универсальными и служат для разрезания в холодном состоянии фасонных профилей комбинированным способом и простого сортового проката при прямом вертикальном движении ножей.

В трубопрокатных трубосварочных агрегатах одной из основных является трубоотрезная машина – летучая пила. Разработанные летучие пилы особенно эффективны при реконструкции трубопрокатных агрегатов.

Особое внимание стоит уделить процессам разделения на мерные отрезки труб в холодном состоянии. В этой области следует отметить летучие пилы холодной резки с возвратно-поступательным перемещением в режиме запуска каретки, оснащенной дисковой пилой. Здесь, как и в роторных пилах горячей резки, используются ускоренные режимы подачи пильного диска, что существенно повышает производительность. Другой способ разрезки на ходу труб в холодном состоянии заключается в нанесении кольцевой риски на прокат с последующим разделением его по риску путем многократного знакопеременного изгиба в летучих отрезных машинах. Применение таких машин позволит повысить производительность прокатного стана вследствие сокращения простоев для замены инструмента, уменьшить капитальные и текущие затраты за счет исключения специального оборудования для отделки торцов.

Таким образом, в статье приведен краткий обзор оснащения металлургических и машиностроительных предприятий современными, высокоэффективными и экономичными машинами для разрезания слитков, заготовок, различных видов проката, круглых и профильных труб, в том числе толстостенных.

### Литература

1. Анурьев В.И. «Справочник конструктора-машиностроителя»: В 3-х т. Т.1,2.– М.: Металлургия, 2001.
2. Буров А.С., Ким Ю.Е., Костенко И.П., Маскилейсон А.М., Мацкевич В.Г., Подольская Е.В., Резин В.И., Ротов И.С. Машины ВНИИметмаша для разрезания слитков и проката.//Тяжелое машиностроение, май-июнь 5-6 / 1988.
3. Соколова О.В., Линденбаум В.И., Вердеревский В.А. Агрегаты и станы для горячей прокатки труб.// Машиностроение: энциклопедия/ 2-е изд/ под ред. К.В.Фролов, 2005. – С. 623-640.
4. Трубные агрегаты и станы, под ред. А.И. Целикова, труды ВНИИМЕТМАШ, сборник научных работ №50, - М., 1977.

УДК 621.774.06:621.771.63-462.2

### ПУТИ РАСШИРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРУБ НЕФТЕГАЗОВОГО СОРТАМЕНТА МЕТОДОМ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ

Антон Евгеньевич Лепестов,  
*аспирант 3 года,*  
*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,*  
*Кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Современный рынок требует трубную продукцию различного сортамента, из различных материалов. Данная потребность связана с развитием многих отраслей промышленности, при этом в сложной современной экономической ситуации заводы-производители, которые во многом были ориентированы на массовое производство труб одного и того же типоразмера терпят значительные убытки.

Требования к организации «гибкого» производства заставляют искать способы модернизации – создание более универсальных трубоэлектросварочных агрегатов. При расширении сортамента за производство качественной трубной заготовки в линии трубоэлектросварочного агрегата отвечает в основном технология получения такой заготовки в формовочном стане.

В ряде случаев не требуется масштабного увеличения диапазона типоразмеров. Тогда наиболее рациональным, вместо установки нового оборудования, выглядит вариант модернизации существующего оборудования, который позволит расширить технологические возможности, повысить точность изготавливаемых изделий и добиться увеличения объема производства.

Рассмотрим варианты расширения технологических возможностей формовочного оборудования. В первую очередь – это выбор новой дистанции между клетями, что связано с изменением длины всего стана [1].

Еще одним способом является разработка различных маршрутов формообразования трубы и расположения деформируемой полосы относительно оси формовки. При этом рассматривается положение точки в каждом калибре, относительно которой происходит сворачивание полосы в заготовку [2].

Более же сложная модернизация связана с совершенствованием конструкции клетей формовочного стана: внедрение в конструкцию клетей стана механизмов дополнительной регулировки положения валков, что позволит максимально приблизить фактическую формовку к расчетной, обеспечить стабильный технологический процесс, сократить парк валков, тем самым обеспечить производство качественных труб широкого сортамента.

### **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.2009 г.
2. Соколова О.В., Лепестов А.Е. Формообразование трубных профилей, Москва, электронное научно-техническое издание «Наука и образование», №7, июль 2010 г.

**УДК 621.74.06**

### **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ МНЛЗ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХТОЛСТЫХ СЛЯБОВ**

Ксения Алексеевна Майборода, Сергей Александрович Миров,  
*студенты 6 курса,*  
*кафедра «Оборудования и технологии прокатки»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: П.Ю. Жихарев,*  
*ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

В последнее десятилетие в мире начал складываться рынок сверхтолстых слябов, которые применяются для изготовления труб большого диаметра. Как правило, данная продукция предназначена для эксплуатации в весьма суровых условиях (высокие давления, низкие температуры, агрессивные среды и т.п.), что определяет высокий уровень требований к металлу, в частности к ударной вязкости и сплошности.

Чтобы получить необходимые характеристики при производстве горячего проката необходимо обеспечить кратность деформации в пределах 4...10 в зависимости от назначения продукции. Так, для обеспечения приемлемой для строительных конструкций ударной вязкости металла плит требуется минимальная степень вытяжки 4 к 1; обеспечение сплошности плит и тем более нормированного уровня Z-свойств минимальная вытяжка возрастает до значений 5 - 6 к 1. Обеспечение доли вязкой составляющей на уровне не менее 80% при проведении испытаний падающим грузом при температуре -20 °С для трубного металла требует кратности 9...10 к 1.

Получение таких вытяжек в ряде случаев возможно только с применением слябов толщиной 350...450 мм.

На территории РФ максимальная толщина получаемых на МНЛЗ слябов не превышает 355 мм, что приводит к необходимости их покупки за рубежом.

Учитывая изложенные факты, необходимость постройки современной МНЛЗ для получения сверхтолстых слябов на территории РФ является актуальной и исключительно важной, поскольку отсутствие подобного производства в условиях повышенного спроса на его продукцию приведёт к зависимости российских производителей от поставок по импорту, что резко снизит конкурентную способность отечественной промышленности.

На основе данных о современном состоянии рынка металлопродукции была спроектирована одноручьевая слябовая МНЛЗ с годовой производительностью до 1 млн т жидкой стали. Сортамент готовой продукции включает в себя слябы из сталей различного назначения сечением 300...450x1800...2200 мм и длиной 2...9,6 м.

В современных криволинейных слябовых машинах непрерывного литья заготовок технологическая ось, как правило, имеет вертикальный участок с последующим загибом заготовки на базовый радиус и прогрессивным разгибом. В первую очередь, это направлено на решение проблемы краевого точечного загрязнения по малому радиусу. За счет вертикального участка при скоростях вытягивания 1,0...1,8 м/мин обеспечивается всплытие неметаллических включений.

Однако разливка слябов толщинами свыше 350 мм характеризуется достаточно низкими (0,4...0,8 м/мин) скоростями, при которых основная часть нежелательных включений всплывает до момента их оседания на фронте кристаллизации, что позволяет значительно упростить конструкцию машины, отказавшись от вертикального участка [2]. Это позволит избежать риска возникновения внутренних трещин на участке загиба заготовки вследствие повышенных деформаций от изгиба.

МНЛЗ комплектуется парком сборных кристаллизаторов для получения слябов в диапазоне толщин 300...450 мм. На рабочую поверхность медных стенок для снижения износа нанесено защитное покрытие. Охлаждение кристаллизатора осуществляется посредством щелевых каналов по обратной петлевой схеме охлаждения [2, 3, 4]. Для контроля состояния слитка и предупреждения внештатных ситуаций кристаллизатор оборудуется системой термодатчиков.

Конструкция кристаллизатора предусматривает установку на медные стенки ультразвуковых излучателей, что позволит снизить трение между слитком и рабочими поверхностями кристаллизатора, стабилизировать процесс разливки, уменьшить энергопотребление приводов, улучшить качество поверхности сляба [5].

Разгиб слитка на горизонталь может осуществляться разгибом в одной точке, в нескольких точках (от 4 до 17), либо плавно. Разгиб в одной точке применяется редко по причине высоких деформаций правки, которые могут существенно превысить допусковые. Это приводит к развитию дефектов макроструктуры и, соответственно, браку. Зарубежные производители металлургического оборудования применяют многоточечные схемы разгиба. Для получения слябов толщиной свыше 350 мм рационально обеспечить плавный разгиб из условия постоянства деформации правки для обеспечения максимальных скоростей разливки и достижения заданных параметров качества [2].

Существенное влияние на конструкцию поддерживающей системы оказывает ферростатическое давление, приводящее к выпучиванию оболочки. Этот фактор особенно важен при разливке сверхтолстых слябов, так как для поддержки узкой грани шириной 350...500 мм требуются дополнительные ряды опорных роликов, которые отсутствуют в МНЛЗ, ориентированных на меньший размерный сортамент. Количество поддерживающих роликов в нулевой секции может достигать 5...7. В свою очередь, протяженная нулевая секция может иметь недостаточную жесткость конструкции. Требуется разработка особой формы внутренней полости кристаллизатора для уменьшения выпучивания слитка, что может быть достигнуто путем профилирования

рабочей поверхности узкой грани с приданием арочной формы. Это позволит минимизировать количество рядов опорных роликов.

Для увеличения жесткости секций зоны вторичного охлаждения применяются многоопорные ролики. В секциях №1 и №2 устанавливаются четырехопорные ролики, в последующих секциях – трехопорные, при этом ролики монтируются в шахматном порядке. Подобная конструкция обеспечивает максимальную площадь соприкосновения горячего металла с роликами и уменьшает протяженность так называемых «мертвых зон», в которых возникает местное выпучивание.

### Литература

1. Буланов Л.В., Корзунин Л.Г., Парфенов Е.П. и др. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет. – У.: Марат, 2004 г.
2. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. – М.: Металлургия, 1991 г.
3. Емельяненко В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. – М.: Металлургия, 1988 г.
4. Жихарев П.Ю., Паршин В.М., Чертов А.Д., Грот А.Н. Ультразвуковое воздействие на стенки кристаллизатора при непрерывной разливке стали // Проблемы черной металлургии и материаловедении. №2, 2013. С. 38 – 44.

УДК 621.771.2

### ПРОКАТКА МНОГОСЛОЙНОГО СТАЛЬНОГО ЛИСТА С НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ

Александр Владимирович Стегниенко,  
студент 5 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.С. Шинкарев,  
ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Использование многослойных металлических материалов позволяет значительно повысить ресурс деталей и конструкций, работающих в условиях высоких температурно-силовых нагрузок с одновременной экономией дорогостоящих легирующих элементов [1]. Существенным преимуществом таких композитов является реализация предельно высоких служебных характеристик, достижение которых при использовании монометаллических заготовок невозможно. Наряду с известным применением таких материалов весьма интересным оказалось использование заготовок, состоящих из сотен и тысяч слоев разнородных металлов и сплавов. В общем случае можно выделить два основных направления, имеющих цель создать материалы с особыми свойствами. Во-первых, это синтез интерметаллидов путем высокотемпературной обработки предварительно компактированных многослойных заготовок [1]. Во-вторых, создание многослойных заготовок с толщиной слоев менее 100 нм с целью получения материала с особыми физическими свойствами. Второе направление, может оказаться перспективным для разработки технологии получения конструкционных материалов с наноразмерной структурой на основе промышленно выпускаемых металлов и сплавов. Разработка технологии получения подобных ма-

териалов — задача достаточно сложная, однако ее решение открывает возможность синтезировать анизотропные многослойные материалы (МСМ) с заданным уровнем эксплуатационных свойств.

Интересным является получение многослойных металлических материалов с субмикро- и нанокристаллической структурой [1]. Используя методы прокатки, как наиболее производительные методы обработки давлением, представляется возможным для массового производства получать массивные заготовки с наноразмерной структурой, обладающие высокой прочностью, твердостью, повышенной износостойкостью при достаточно высокой пластичности, что облегчает последующую обработку для получения различных деталей машиностроения и позволит использовать их в различных конструкциях.

Разработка технологии получения многослойных заготовок методом горячей прокатки, открывает перспективы создания материалов с субмикро- и наноразмерной структурой на основе промышленно выпускаемых металлов и сплавов. Проведенные ранее исследования показали, что получение такой структуры, в материале, созданном на основе одного металла, возможно в том случае, если в исходной композиции участвуют сплавы, имеющие различное кристаллическое строение (решетки ОЦК и ГЦК).

### Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комисарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. «Материаловедение и термическая обработка металлов». Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки. №6 (660). 2010 г.

УДК 621.771

### АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ НА СТАНЕ 5000

Андрей Павлович Степанов,  
*студент 3 курса,*  
*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Миронова М. О.<sup>(1)</sup>, Мунтин А. В.<sup>(2)</sup>,*  
*Ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»<sup>(1)</sup>, аспирант кафедры*  
*«Оборудование и технологии прокатки»<sup>(1)</sup>,*

Основной задачей металлургических компаний в настоящий момент является достижение вертикальной интеграции процесса производства труб, т.е. обеспечить независимость данного процесса от сторонних поставщиков.

Технологию получения труб можно разделить на три основных этапа, которые связаны в жёсткую производственную цепочку: выплавку стали, прокатку листов, формовку труб.

Для обеспечения производства труб большого диаметра Объединенной металлургической компанией был построен современный толстолистовой прокатный Стан 5000. Также планируется возведение литейного агрегата для изготовления слябов под Стан 5000. Это позволит замкнуть цепочку производства труб большого диаметра.

Основным назначением толстолистого Стана 5000 является производство листового проката из низколегированных марок стали для изготовления электросварных труб большого диаметра (от 508 мм (20") – до 1.420 мм (56")) на трубоэлектросварочных станах ОАО «Выксунский металлургический завод». Листы трубного назначения производятся в диапазоне толщин от 7,0 мм до 50,0 мм, ширины 1.400 до 4.800 мм, длиной до 12.300 мм из сталей классов прочности К52-К70, L360 - L830, X52-X120.

Моей задачей было рассчитать максимальные режимы деформации, при которых можно проводить прокатку толстых листов, не превышая допустимые значения энергосиловых параметров стана (силы и момента прокатки). Были проведены расчёты для самых нагруженных проходов: первой проход черновой стадии при 1200 С и самом максимальном размере заготовки, первый проход чистовой стадии при 750 С, когда при понижении температуры возрастает сопротивление деформации металла и для 3-х разных степеней обжатия при каждой температуре. Тем самым мы чётко очертим границы возможностей стана.

Результаты расчетов представлены на рисунках 1 и 2. Что позволяет оценить возможности стана по заданным параметрам.

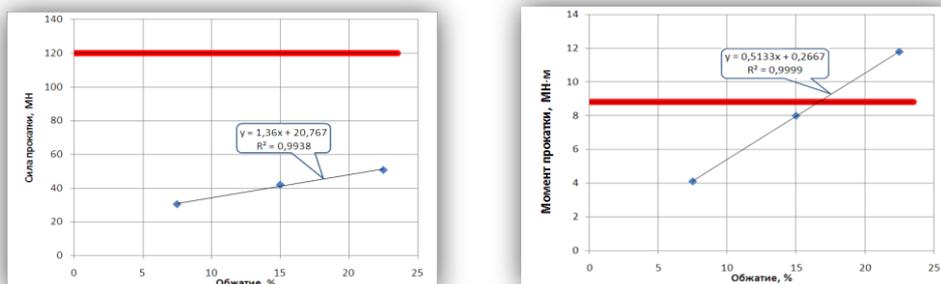


Рис. 1. Зависимость силы и момента прокатки от обжатия при прокатке заготовки 400 мм.

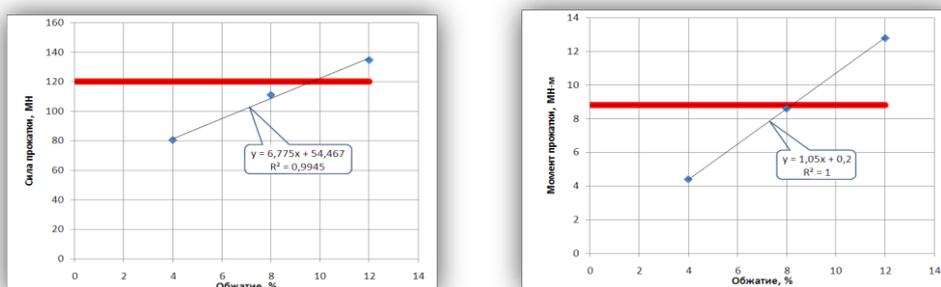


Рис. 2. Зависимость силы и момента прокатки от обжатия при прокатке заготовки 125 мм.

Проведя анализ конструкции стана и расчет энергосиловых параметров мы убедились в том, что возможности Стана 5000 позволяют успешно использовать его для прокатки наиболее толстых слябов при жестких начальных условиях прокатки. Так при прокатке в первом проходе сляба толщиной 400 мм возможно задать обжатие равное 16,5%. А при прокатке промежуточного подката толщиной 125 мм – до 8,5%.

## Литература

1. *Никитин Г.С.* Теория непрерывной продольной прокатки. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009
2. *Никитин Г.С., Восканьянц А.А., Крюков К.А.* Расчёт энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010
3. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин. М.: Металлургия, 1982
4. <http://оао-вмз.рф/Производство/МКС-5000>

**УДК 621.774.3**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НА СТАНЕ ХПТ 6-20**

Алексей Геннадьевич Ушаков,  
*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 основной тенденцией в производстве холоднокатанных труб является расширение сортамента по размерам в сторону уменьшения и по материалам в сторону повышения требований к прочности и ударной вязкости. При этом наряду с повышением силы прокатки возникают значительные осевые усилия.. что вызывает смятие заготовки во время прокатки, врезание торцов заготовки друг в друга, налипание металла на рабочий инструмент. Отличительной особенностью процесса холодной прокатки труб является то , что радиус ручья калибра и величина деформации является переменной по длине хода клетки. В то же время размеры очага деформации и скоростные условия деформации металла определяют силовые условия процесса. Проектирование новых станов с оптимальными конструктивными параметрами, реконструкция существующих станов, обоснованный выбор оптимальных режимов работы станов требуют знания зависимости технологических усилий от основных параметров процесса. В первую очередь это касается одного из основных параметров — катающего радиуса. На поверхности вала существует точка, в которой значение окружной скорости валков и металла равны. Радиус проведенный через такую точку и называется катающим радиусом. Он переменен по длине хода клетки. В настоящее время при расчете калибровки катающий радиус принимается постоянным и равен радиусу начальной окружности ведущей шестерни, что приводит к существенным ошибкам в вычислениях.

Так появилась идея смоделировать процес прокатки в пакете программ Ansys. В качестве отправной точки были взяты данных о усилиях прокатки на стане ХПТ 6-20. Эксперименты проводились в ОАО «АХК ВНИИМЕТМАШ». По чертежам предприятия, была создана электронная модель рабочего инструмента (валка и оправки) с помощью набора программ SolidWorks. Моделирование проводится с целью получения данных о напряженнодеформированном состоянии заготовки, осевых усилиях и катающем радусе валка. Результаты работы будут сравниваться с данными

предприятия с целью анализа созданной модели на предмет (достоверности) соответствия реальным экспериментам.

Созданная модель для станов ХПТ поможет в будущем достоверно определять катающий радиус и усилия прокатки. Это позволит получить представление о том, каким должен быть рабочий инструмент, а так же ведущая шестерня и рейка с переменным шагом, применение которых позволит уменьшить осевое усилие.

### **Литература**

1. Соколова О.В., Вердеревский, Мерзляков В.Д. Повышение эффективности процесса холодной прокатки труб «Сталь». №7.2000.
2. Соколова О.В., Комков А.Е. Способы производства прецизионных труб. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №6, 2011.
3. Соколова О.В., Коньгина Т.А., Леонова Т.Ю. Исследование нового стана для производства холоднодеформированных труб. Седьмая межвузовская конференция «Металлургические машины и оборудование». МИСиС, 2004.



## **Секция XI**

### **Электронные технологии в машиностроении**

Председатель:

**Панфилов Юрий Васильевич**

д.т.н, 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

## СИСТЕМА АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Сергеевич Селиваненко,  
студент 6 курса,  
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»

Материалы на основе магнитоэластических эластомеров (МРЭ) используются для изготовления демпферов автомобилей благодаря их свойству изменять жесткость под воздействием магнитного поля. Благодаря скорости реакции МРЭ на изменение магнитного поля открывается возможность для их использования в устройствах активной виброизоляции для вакуумного нанотехнологического и исследовательского оборудования, в том числе, например, для вакуумного сканирующего зондового микроскопа.

Экспериментальная платформа (рис. 1), разрабатываемая в лаборатории кафедры «Электронных технологий в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана состоит из демпфера I и датчика II вибраций.

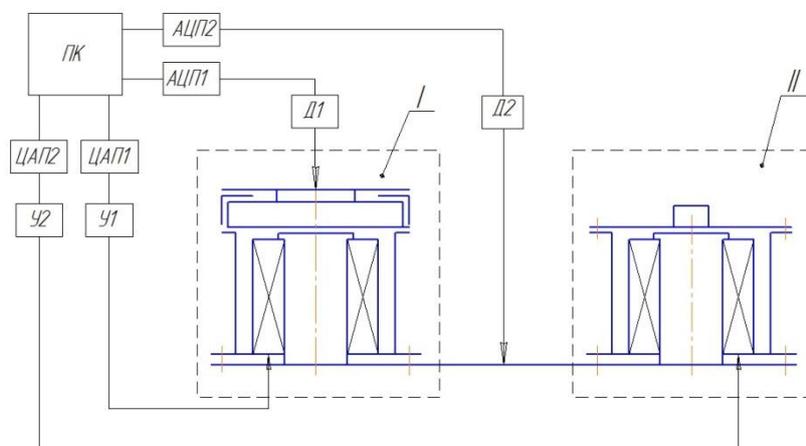


Рис. 1. Схема экспериментальной платформы

Управление активным демпфером [2] осуществляется за счет изменения уровня управляющего тока на катушке электромагнита. В зависимости от тока коэффициент жесткости мембраны изменяется и его можно вычислить по формуле:

$$k = \frac{S_{сл}}{h} (KB^2 \varphi_v + G) = \frac{S_{сл}}{h} (9,81 \cdot 10^{12} (B/5000)^2 \varphi_v + G)$$

С помощью разработанных в среде LabView программ в пассивном режиме работы платформы были исследованы такие характеристики демпфера, как коэффициент передачи амплитуды колебаний в зависимости от управляющего тока при различных вариантах установки экспериментальной платформы – с дополнительной пассивной виброизоляцией платформы и без нее.

Петли гистерезиса, полученные для токов 0–2 А (рис. 2) характеризуют степень поглощения энергии колебаний системой, наибольшая остаточная деформация наблюдается при токе 2 А.

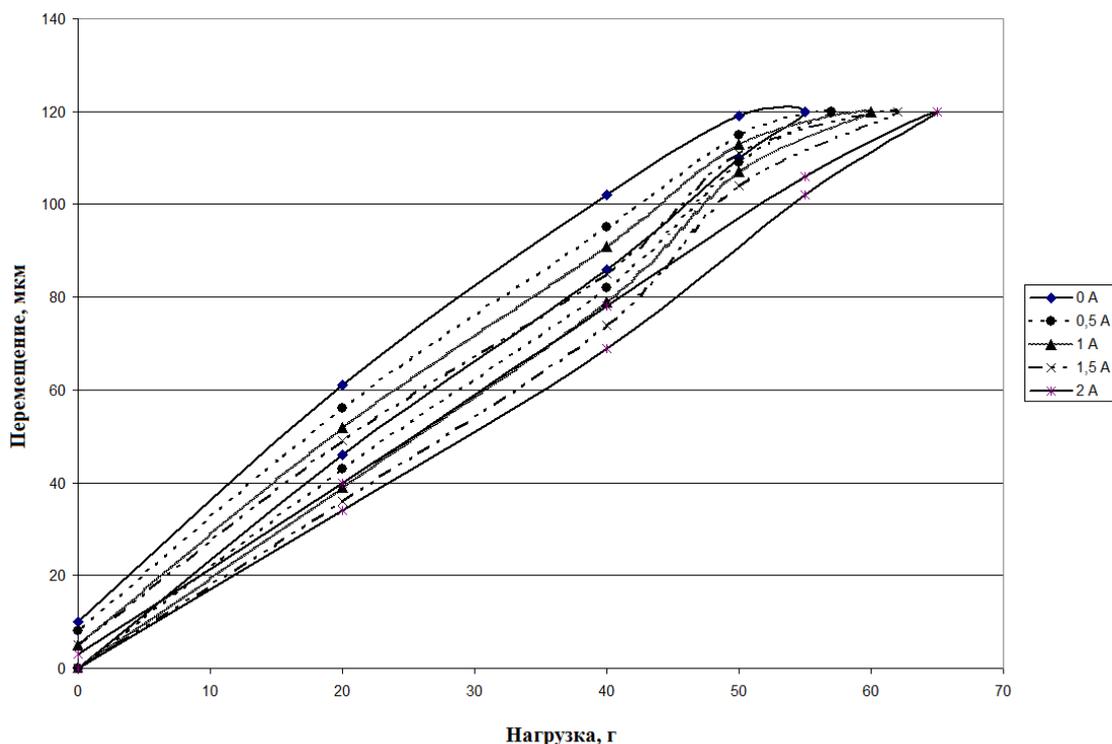


Рис. 2. Гистерезис перемещения для различных значений тока

### Выводы:

1. Использование МР–эффекта позволяет регулировать коэффициент жесткости  $k$  упругой мембраны за счет изменения величины магнитной индукции  $B$ , и, соответственно, частотные и точностные характеристики устройств активного демпфирования и микропозиционирования.
2. В рамках проводимой научно-исследовательской работы был исследован коэффициент поглощения колебаний магнитореологическим эластомером при различных управляющих токах.
3. Была протестирована система управления активным демпфером, проведены исследования зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний от силы тока для фиксированной частоты задатчика вибраций 100 Гц, исследована зона нечувствительности и остаточная деформация МР-демпфера при работе в диапазоне токов 0-2 А.

### Литература

1. Управление активной виброизоляцией и позиционированием магнитореологических устройств / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, А.М. Базиненков, И.К. Зобов, К.Г. Шаков. Нано- и микросистемная техника. - 2011, №7, - С. 5 – 9.
2. Пат. 2404381 Российская Федерация, МПК F 16 F 9/53, F 16 F 15/03. Активная опора / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, Д.Ю. Борин, И.К. Зобов, Е.Ю. Крамаренко; заявл. 30.09.2009; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32. - 9 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ TiVN

Максим Алексеевич Данилов<sup>(1)</sup>, Василий Владимирович Петров<sup>(2)</sup>,  
студент 3 курса<sup>(1)</sup>, ассистент кафедры<sup>(2)</sup>,  
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»

Актуальность проблемы снижения трения и износа контактирующих поверхностей пар трения деталей машин, повышения стойкости обрабатываемого инструмента определяется непосредственным влиянием этих свойств на такие важные характеристики машин и оборудования, как ресурс, надежность и энергоэффективность. С возникновением и развитием вакуумных методов осаждения тонких пленок, обеспечивающих высокую чистоту, химическое и структурное совершенство наносимых покрытий, одним из активно развивающихся направлений стало применение этих методов для целей защиты и повышения стойкости поверхности к различным воздействиям, улучшение трибологических свойств контактных сопряжений.

Износостойкость тонкопленочных покрытий, формируемых методами физического осаждения, в существенной степени определяется уровнем остаточных напряжений и прочностью адгезионной связи покрытия и основания (подложки). В случае образования трещин в покрытии и нарушении на локальных участках адгезионной связи происходит разрушение покрытия.

Для повышения трещиностойкости и прочности покрытий необходимо снижение уровня остаточных напряжений в покрытии, однако, их предельная величина лимитируется толщиной покрытия и прочностью его адгезионной связи с основанием. Одним из путей преодоления недостатков сплошных покрытий является применение дискретной (островковой) конфигурации покрытий. В этом случае на локальных участках покрытия происходит сдерживание процессов трещинообразования, повышение адгезионной прочности.

Отличительной особенностью технологического процесса формирования тонкопленочных дискретных покрытий является наличие операции размерной обработки, посредством которой обеспечивается создание дискретной структуры на основе фрагментов износостойкой пленки, образующей упрочненную поверхность. Такая операция может быть реализована на основании различных технологических приемов. Каждый из технологических вариантов обладает специфическими особенностями и преимуществами. Так, наиболее высокие разрешение, качество и универсальность в формировании рисунка покрытия предоставляют фотолитографические методы, однако, и обладают при этом высокой трудоемкостью и ограниченностью применения на геометрически сложных поверхностях и габаритных деталях. Метод с использованием металлических масок наиболее прост в реализации, но имеет низкую универсальность в формировании различных рисунков покрытия, требует обеспечения плотного и равномерного прилегания маски к поверхности, а также для повышения качества желательное использование высоковакуумных методов осаждения пленок. Предлагаемый метод на основе лазерной обработки сплошных

тонких пленок обеспечивает высокую универсальность при формировании различных рисунков покрытия, может использоваться для получения покрытия на геометрически простых поверхностях большого размера.

Композитное покрытие на основе дискретных планарных структур характеризуется множеством параметров, среди которых можно отметить такие существенные, как материалы, форма и размерность (характерный размер и толщина дискретов) дискретной структуры. Важным параметром является соотношение площадей износостойкого дискретного покрытия и всей поверхности в целом. Каждый из параметров оказывает существенное влияние на трибологические характеристики дискретных покрытий.

Так, например, проведенные исследования композитных покрытий с дискретными элементами разных размеров, полученными с использованием лазерной обработки, свидетельствуют о влиянии размера дискретного элемента на трибологические свойства покрытия. В экспериментах покрытия формировались по технологии, в соответствии с которой на подложку из стали X18H10T методом магнетронного осаждения наносилось покрытие TiBN. На втором этапе, на оборудовании лазерной гравировки часть поверхности нанесенного покрытия удалялась таким образом, чтобы оставшиеся дискретные элементы покрытия (в виде окружностей) располагались на поверхности с заданной в плане эксперимента периодичностью и имели необходимый размер.

Полученные покрытия исследовались на трибометрическом стенде. Осуществлялись измерения коэффициента трения скольжения в контакте с шариком из стали ШХ15. Кроме того, измерялась интенсивность изнашивания покрытий методом контроля потока частиц износа из области трения.

Проведенные исследования композитных покрытий, состоящих из дискретных планарных структур на основе тонких пленок, свидетельствуют о перспективности таких материалов в плане повышения прочности покрытий. При выборе оптимальной дискретной структуры композитного покрытия следует использовать такие параметры, как толщина пленки, размеры и форма дискретных элементов покрытия.

**УДК 544.22**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМАРНО ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИСУЛЬФИДОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

*Алексей Станиславович Самарцев,  
студент 3 курса, бакалавриат,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Беликов,  
кандидат наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В настоящее время изучение двумерных (2D) материалов находится на передовом крае науки. Первым, полученным в 2004 году, подобным материалом стал графен, - монослой углерода. За открытие специфических свойств графена физики А.К.Гейм и К.С.Новоселов получили в 2010 году Нобелевскую премию по физике.

Полагая, что особыми свойствами обладают и другие 2D-материалы, ученые разных стран обратили усилия на изучение их свойств. Уже начиная с 2011 года, публикуются первые работы посвященные исследованию таких материалов. В

частности, 30 января 2011 года швейцарские ученые опубликовали исследования посвященные перспективам применения дисульфида молибдена в качестве полупроводникового материала для нанoeлектроники [1]. В настоящее время обнаружено множество потенциальных аналогов графена, рассматриваемых в качестве перспективного двумерного материала, среди которых такие материалы как: нитрид бора, дисульфид молибдена, дисульфид вольфрама, диселенид молибдена, теллурид ртути и теллурид висьмута и другие [2].

Основным требованием к полупроводниковому материалу в электронике является наличие запрещенной зоны. Монослой дисульфида молибдена обладает широкой запрещенной зоной. В то время как графен является проводником, и ни о какой запрещенной зоне в нем говорить не приходится, монослой дисульфида молибдена имеет запрещенную зону шириной в 1.79 эВ [3] (у кремния только около 1 эВ). Полупроводниковые свойства важны для изготовления таких устройств, как светодиоды, солнечные батареи, фотоприемники и т.д. Подвижность свободных зарядов в дисульфиде молибдена оценивается в  $100 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , некоторые ученые сообщают о возможности достижения значения в  $480 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , если использовать в качестве подложки полимер [4].

Стоит обратить внимание и на доступность и свойства  $\text{MoS}_2$ . О них стоит сказать, что во-первых  $\text{MoS}_2$  встречается в большом количестве в виде минерала – молибденита, чья добыча для нужд нанoeлектроники не вызовет особых сложностей, учитывая, что слоистый, не двумерный дисульфид молибдена уже давно используется в качестве твердой смазки. Во-вторых,  $\text{MoS}_2$  не склонен окисляться или взаимодействовать с водяным паром в атмосфере до температур в  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ , не реагирует с разбавленными кислотами и щелочами, не растворяется в воде, без доступа воздуха разлагается только при температуре около  $1100^\circ\text{C}$ , с большинством веществ реагирует только при нагреве. Имеет стабильные свойства до температур в  $350^\circ\text{C}$ . Словом, рассматриваемый материал не склонен к деградации при эксплуатации за счёт химических реакций. В-третьих, методы его получения не являются уникальными и хорошо известны.

На основании проведенного литературного обзора можно выделить следующие методы получения (синтеза) монослойного  $\text{MoS}_2$ :

- механический пилинг («Скоч-метод»);
- отшелушивание и седиментация в среде растворителей с использованием воздействия ультразвуком [5];
- химическое осаждение из газовой фазы (CVD) в среде защитных газов [6];
- применение лазерной абляции при обработке многослойного  $\text{MoS}_2$  [7].

У дисульфидов молибдена и вольфрама может быть много различных применений. О перспективах использования дисульфидов тугоплавких элементов в солнечных батареях, фоточувствительных матрицах, различными учеными проведены соответствующие исследования. Дисульфид вольфрама также может использоваться как ключевой компонент для создания термоэлектрических нанолитов.

У дисульфида молибдена есть большой потенциал в области нанoeлектроники. Так, базовый компонент электроники – транзистор, может быть создан на основе атомарных слоев  $\text{MoS}_2$  и углеродных нанотрубок [8]. На основе такого же сочетания возможно создание полупроводниковых диодов [9]. Ученые из Массачусетского Технологического Института уже создали экспериментальные образцы дискретной логики на основе  $\text{MoS}_2$ -нанотранзисторов [10].

Практическим применением могут стать гибкие жидкокристаллические дисплеи, флеш-устройства с вместительностью во много раз большей, чем у современных аналогов, биосенсоры, высокочастотные датчики на основе наномеханических

резонаторов и многое другое. Устройства, которые могут быть созданы на основе нанoeлектроники, будут иметь повышенные характеристики по быстродействию и низкому энергопотреблению и преимущества, которые не могут предложить современные аналоги. При этом ученые считают, что главная особенность нанoeлектроники, в сравнении с микроэлектроникой, будет заключаться не просто в количественной миниатюризации, а в качественных отличиях. Возможно, в будущем будут созданы принципиально новые устройства на основе таких материалов.

### Литература

1. *B. Radisavljevic, J. Brivio, V. Giacometti & A. Kis* Single-layer MoS<sub>2</sub> transistors – Nature Nanotechnology 30.01.2011
2. *S. Lebegue, T. Björkman, M. Klintenberg, R. M. Nieminen, and O. Eriksson* Two-Dimensional Materials from Data Filtering and *Ab Initio* Calculations – Phys. Rev. X 3, 8.01.2013
3. *Eugene S. Kadantsev, Pawel Hawrylak* Electronic structure of a single MoS<sub>2</sub> monolayer – Solid State Communications, 10.02.2012
4. *Wenzhong Bao, Xinghan Cai, Dohun Kim, Karthik Sridhara and Michael S. Fuhrer* High mobility ambipolar MoS<sub>2</sub> field-effect transistors: Substrate and dielectric effects – Applied Physics Letters 102, 29.01.2013
5. *Kai-Ge Zhou, Nan-Nan Mao, Hang-Xing Wang, Prof. Yong Peng, Prof. Hao-Li Zhang* A Mixed-Solvent Strategy for Efficient Exfoliation of Inorganic Graphene Analogues – Angewandte Chemie International Edition, Volume 50, Issue 46, pages 10839–10842, November 11, 2011
6. *Yifei Yu, Chun Li, Yi Liu, Liqin Su, Yong Zhang & Linyou Cao* Controlled Scalable Synthesis of Uniform, High-Quality Monolayer and Few-layer MoS<sub>2</sub> Films – Scientific Reports 3, Article number: 1866, 21.05.2013
7. *A. Castellanos-Gomez, M. Barkelid, A. M. Goossens, V. E. Calado, H. S. J. van der Zant, and G. A. Steele* Laser-Thinning of MoS<sub>2</sub>: On Demand Generation of a Single-Layer Semiconductor – Nano Letters, 29.05.2012

УДК 621.793.182, 621.893

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МИШЕНЕЙ

Никита Михайлович Барсуков<sup>(1)</sup>, Владимир Николаевич Калинин<sup>(2)</sup>,  
бакалавр 3 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 3-го года обучения<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Беликов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»

В современном мире актуальны задачи повышения долговечности и надежности функционирования механизмов машин и оборудования, улучшения качества поверхности деталей машиностроения и приборостроения и увеличения скорости обработки технологическим инструментом. Это позволяет повысить

конкурентоспособность выпускаемой продукции, повысить эффективность и качество металлообработки, снизить себестоимость изготавливаемых деталей (за счет увеличения производительности). Кроме того, производство новой техники, разрабатываемой для функционирования в более жестких условиях, и работающей на повышенных режимах способствует активному поиску новых решений. Для решения широкого круга рассматриваемых задач используются методы инженерии поверхности, основанные на технологиях нанесения тонких пленок в вакууме, обеспечивающие упрочнение поверхности, повышение ее износостойкости и снижение трения в парах трения узлов механизмов и машин. Отдельный класс покрытий представляют твердосмазочные покрытия, обладающие высокими антифрикционными характеристиками, основу которых составляют такие уникальные материалы, имеющие анизотропную, слоистую структуру с низким внутренним трением по плоскостям скольжения. Это такие материалы, как дисульфиды и диселениды тугоплавких металлов (молибден, вольфрам и др.), способные функционировать при температурах 400°C и более, обеспечивать аномально низкое трение (коэффициент динамического трения менее 0.01) в условиях инертных сред и вакуума.

Новые требования, предъявляемые к деталям машин и приборов, к технологическому инструменту, могут быть обеспечены за счет применения перспективных, современных покрытий, которые в отличие от традиционных упрочняющих покрытий должны быть многофункциональными, обладать не только высокими твердостью и прочностью, но и высокими антифрикционными характеристиками. Для создания новых покрытий используется известный прием, а именно, использование композитной структуры на основе твердой износостойкой матрицы, содержащей мягкий антифрикционный материал. А применение технологий осаждения на изделие покрытий методами распыления материалов в вакууме [1,2] дает возможность получать покрытия нанокompозитной структуры [3].

Благодаря своей особенной наноразмерной структуре нанокompозитные покрытия обладают уникальным комплексом свойств, которые обеспечивают выполнение современных требований предъявляемых к упрочняющим покрытиям. Кроме того, существует возможность регулирования и управления свойствами покрытий. Параметры покрытий меняются от геометрических размеров, структур и составов. Заданный состав пленки можно получать реактивным нанесением, путем использования мишеней сложного состава, с помощью одновременного либо поочередного осаждения различных материалов из нескольких источников.

В работе представлена технология нанесения нанокompозитных тонкопленочных покрытий методом магнетронного распыления композитной порошковой мишени, состоящей из дисульфида молибдена и титана. Предметом исследования являлось изучение влияния толщины нанокompозитного покрытия  $TiNMoS_2$  в субмикронной области на трибологические характеристики и твердость.

В результате выполнения работы методом магнетронного распыления пресованной мишени  $Ti+MoS_2$  в среде аргона и азота на образцах из стали X18H10T были получены образцы покрытий  $TiNMoS_2$ , субмикронной толщины (0.1 мкм, 0.18 мкм, 0.2 мкм, 0.35 мкм, 0.4 мкм). Измерения толщины осуществлялись по ступеньке, сформированной покрытием на подложке, с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) Solver NEXT.

По результатам проведенных измерений микротвердости (на микротвердомере ПМТ-3М) подготовленных образцов с покрытиями, наибольшие значения были получены для покрытия толщиной 0.4 мкм.

Исследования трибологических характеристик рассматриваемых покрытий показали, что наименьшим коэффициентом трения скольжения в паре с контртелом из

стали ШХ15, который имел величину 0.1-0.15, также обладало покрытие толщиной 0.4 мкм, продемонстрировав при этом более высокую износостойкость.

### Литература

1. *Беликов А.И., Коробова Н.В., Никонов И.И., Берстнев М.В.* Формирование комбинированных упрочняющих покрытий вакуумными ионными методами // Материалы 8-й Международной конференции «Пленки и покрытия - 2007». – С-Петербург, 2007. - С. 81-87.
2. *Дмитриев А.М., Панфилов Ю.В., Беликов А.И., Коробова Н.В.* Технология создания наноструктурированных износостойких покрытий с использованием отходов титана // Ремонт восстановление модернизация: Производственный, научно-технический и учебно-методический журнал ISSN 1684-2561. - М.: Наука и технологии - 2010, №4, с.30-33.
3. *Spassov V., Savan A., Phani A.R., Haefke H.* Self-lubricating nanocomposite hard coatings for wear protection of cutting tools // CSEM Swiss Center for Electronics and Microtechnology (материалы конференции «NANO 2004»).

УДК 621.3.049.75

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С УСИЛЕННЫМ ТЕПЛООТВОДОМ

Алексей Александрович Бушмаков,  
*студент 4 курса,*  
*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,*  
*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.С. Боброва,*  
*ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

#### Введение

Разработчик при проектировании радиоэлектронных устройств стремится снизить их массогабаритные характеристики. При этом компактная упаковка тепловыделяющих элементов на плате не позволяет эффективно рассеивать выделяемое ими тепло, получающееся за счет того, что не вся потребляемая мощность переходит в полезную. Нарушение теплового режима электронных компонентов влечет за собой снижение надежности, помехоустойчивости, а также выход из строя компонентов. Все это делает необходимость отвода тепла от радиоэлектронных компонентов актуальной задачей, требующей расширения базы типовых технологических приемов в соответствии с требованиями разработчиков радиоэлектронных устройств.

#### Конструкции печатных плат с усиленным теплоотводом

Отвод тепла от печатных плат можно выполнить несколькими способами: охлаждение источника тепла напрямую, с помощью гипертеплопроводящего (далее – ГТП) пористого основания, а также с использованием металлического основания.

Основным недостатком первого способа охлаждения является большие габаритные размеры теплоотводящего элемента. ГТП основание является более эффективным из-за высокой теплопроводности, но невозможность изменить форму

основания и большие габаритные размеры не позволяют использовать его для плат со сложной конфигурацией. Металлическое основание позволяет решить эту проблему, но имеет меньшую теплопроводность.

На металлическом основании можно изготавливать как однослойные платы, так и двухсторонние и многослойные. У однослойных и многослойных печатных плат (далее – МПП), из-за электропроводящего основания, исчезает возможность использования элементов, монтируемых в отверстия.

Для МПП эту проблему можно решить путем фрезерования отверстия под выводы DIP-элементов и изолирования алюминиевого основания с помощью анодирования, но в таком случае можно использовать только низкотекучие препреги.

Решить проблему текучести прпрега можно заполнив отверстия в металлическом основании эпоксидной смолой, но после прессования необходимо еще просверлить и металлизировать сквозные отверстия, а также сформировать проводящий рисунок на наружном слое МПП.

Также можно использовать металлическое основание в качестве металлического сердечника. Но в отличие от конструкции с нетекучимпрепрегом операция прессования здесь не является заключительной. Поэтому невозможно использовать уже готовую МПП перед прессованием.

#### **Подбор теплопроводящего изоляционного материала**

При подборе теплопроводящего изоляционного материала основными параметрами, на которые необходимо обращать внимание являются: коэффициент температурного расширения (далее – КТР), текучесть, а также теплопроводность. Причем важность текучести возрастает при использовании МПП с элементами, монтируемыми в отверстия, так как при прессовании препрег может в них попасть. Для эффективной передачи тепла от МПП к основанию необходимо выбирать препрег с высокой теплопроводностью. КТР следует подбирать примерно одинаковым для всех материалов, используемых в МПП.

#### **Технологический процесс прессования**

При комплектации пакетов МПП необходимо, чтобы металлические основания в разных пакетах МПП располагались симметрично относительно центра набора этих пакетов. Причем если прессование производится в прессах с горячими плитами то, металлические основания МПП следует расположить со стороны плит.

В начале цикла, когда температура в камере только растет, плиты пресса сжимаются с малым усилием  $\sim 1.8$  МПа. После дегазации камеры и достижения в пакетах заготовок необходимой температуры (называемой температурой гелеобразования) препрег приобретает текучесть, и создается полное усилие прессования  $\sim 2.3$  МПа. После этого производится выдержка в течение  $\sim 30$  мин., необходимая для отверждения эпоксидной смолы. После отверждения температура в камере постепенно снижается, и опускается давление.

#### **Выводы**

1. Теплонагруженные МПП целесообразно выполнять на плоском металлическом основании (технологично при изготовлении, мобильно и универсально с точки зрения габаритов и формы при эксплуатации).
2. Если форма и габариты изделия не играют важной роли, то следует использовать гипертеплопроводящее пористое основание, так как теплоотводящая способность таких оснований выше, чем у монолитных металлических пластин.
3. При изготовлении МПП с усиленным теплоотводом необходимо, чтобы цепи, где выделяется максимальное количество тепла, размещались на ближайшем к металлическому основанию слое и имели как можно большую площадь.

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ TiAlN

Максим Алексеевич Данилов<sup>(1)</sup>, Василий Владимирович Петров<sup>(2)</sup>,  
студент 3 курса<sup>(1)</sup>, ассистент кафедры<sup>(2)</sup>,  
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»

Актуальность проблемы снижения трения и износа контактирующих поверхностей пар трения деталей машин, повышения стойкости обрабатываемого инструмента определяется непосредственным влиянием этих свойств на такие важные характеристики машин и оборудования, как ресурс, надежность и энергоэффективность. С возникновением и развитием вакуумных методов осаждения тонких пленок, обеспечивающих высокую чистоту, химическое и структурное совершенство наносимых покрытий, одним из активно развивающихся направлений стало применение этих методов для целей защиты и повышения стойкости поверхности к различным воздействиям, улучшение трибологических свойств контактных сопряжений.

Износостойкость тонкопленочных покрытий, формируемых методами физического осаждения, в существенной степени определяется уровнем остаточных напряжений и прочностью адгезионной связи покрытия и основания (подложки). В случае образования трещин в покрытии и нарушении на локальных участках адгезионной связи происходит разрушение покрытия.

Для повышения трещиностойкости и прочности покрытий необходимо снижения уровня остаточных напряжений в покрытии, однако, их предельная величина лимитируется толщиной покрытия и прочностью его адгезионной связи с основанием. Одним из путей преодоления недостатков сплошных покрытий является применение дискретной (островковой) конфигурации покрытий. В этом случае на локальных участках покрытия происходит сдерживание процессов трещинообразования, повышение адгезионной прочности.

Отличительной особенностью технологического процесса формирования тонкопленочных не сплошных покрытий является наличие операции размерной обработки, посредством которой обеспечивается создание дискретной структуры на основе фрагментов износостойкой пленки, образующей упрочненную поверхность. Такая операция может быть реализована на основании различных технологических приемов.

Каждый из технологических вариантов обладает специфическими особенностями и преимуществами. Так, наиболее высокие разрешение, качество и универсальность в формировании рисунка покрытия предоставляют фотолитографические методы, однако, обладая при этом высокой трудоемкостью и ограниченностью применения на геометрически сложных поверхностях и габаритных деталях. Метод с использованием металлических масок наиболее прост в реализации, но имеет низкую универсальность в формировании различных рисунков покрытия, требует обеспечения плотного и равномерного прилегания маски к поверхности, а также для повышения качества желательно использование высоковакуумных методов

осаждения пленок. Метод лазерной обработки обеспечивает высокую универсальность при формировании различных рисунков покрытия, может использоваться для получения покрытия на геометрически простых поверхностях большого размера.

Композитное покрытие на основе дискретных структур характеризуется множеством параметров, среди которых можно отметить такие существенные, как материалы, форма и размерность (характерный размер и толщина фрагментов) дискретной структуры. Важным параметром является соотношение площадей износостойкого покрытий и всей поверхности. Каждый из параметров оказывает существенное влияние на трибологические характеристики дискретных покрытий.

Так, например, проведенные исследования влияния геометрических параметров дискретной структуры композитного покрытия с использованием лазерной обработки, на его трибологические характеристики, свидетельствуют о следующем. В экспериментах покрытия формировались по технологии в соответствии с которой на подложку из стали X18H10T методом магнетронного осаждения наносилось покрытие TiBN. На втором этапе, на оборудовании лазерной гравировки часть поверхности нанесенного покрытия удалялась таким образом, чтобы оставшиеся дискретные фрагменты покрытия (в виде окружностей) располагались на поверхности с заданной в плане эксперимента периодичностью и имели необходимый размер.

Полученные покрытия исследовались на трибометрическом стенде. Осуществлялись измерения коэффициента трения скольжения в контакте с шариком из стали ШХ15. Кроме того, измерялась интенсивность изнашивания покрытий методом контроля потока частиц износа из области трения.

Проведенные исследования композитных покрытий, состоящих из тонких пленок дискретных планарных структур, свидетельствуют о перспективности таких материалов в плане повышения прочности покрытий за счет выбора оптимальной структуры. Для воздействия могут использоваться такие параметры композиции, как толщина слоя, размеры и форма локальных фрагментов покрытия.

**УДК 621.389**

## **УМЕНЬШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДЛОЖЕК AlN ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Алина Александровна Доброносова<sup>(1)</sup>, Юлия Сергеевна Макарова<sup>(1)</sup>, Денис Дмитриевич Васильев<sup>(2)</sup>,

*студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса,<sup>(2)</sup>*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,*

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

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

### **Введение**

Керамические подложки нитрида алюминия AlN получают спеканием порошка нитрида алюминия при температурах, близких к температуре плавления. AlN является уникальным техническим керамическим материалом, который обладает интересным сочетанием высокой теплопроводности и изоляционных свойств. Так как коэффициенты температурного линейного расширения (КТЛР) у нитрида алюминия и кремния практически идентичны, то это позволяет использовать его как

конструкционный материал в области электронных технологий, где ранее интенсивно использовалась окись бериллия, физические свойства которой уступают AlN, за исключением диэлектрических потерь, но относительно низкая стоимость и преобладание других характеристик, позволяют нитриду алюминия занять лидирующие позиции на мировом рынке керамики [1]. Особенно активно в последнее время применяются в производстве корпусов, подложек интегральных схем, транзисторов и многих других электронных компонентов [1].

Одной из важнейших характеристик подложки, на которую будет осаждаться тонкопленочное покрытие, является её шероховатость. Достаточно высокие значения шероховатости нитрида алюминия влияют на множества факторов. При более шероховатой поверхности ухудшается четкость рельефа металлических проводников и, следовательно, точность воспроизведения рисунка схемы. При шероховатой поверхности подложки может произойти локальный разрыв высокоомных (узких) проводников. Не менее опасно нанесение на грубо обработанную поверхность двух близко расположенных проводников между которыми может произойти короткое замыкание. Таким образом, чем лучше качество обработки поверхности подложки, тем выше «разрешающая способность» схемы [2].

В данной работе рассмотрен процесс обработки подложек нитрида алюминия автономным источником ионов сеточного типа. И представлены результаты измерений структуры поверхности в сканирующем зондовом микроскопе.

#### **Травление подложек нитрида алюминия**

Сущность процесса ионного травления заключается в следующем. Рабочий газ аргон ионизируется, разгоняется разностью потенциалов. Высокоэнергетичные ионы бомбардируют подложку и выбивают частицы нитрида алюминия, делая его поверхность менее шероховатой. Подложка закрепляется на подложкодержателе под углом  $60^{\circ}$  относительно нормали. Так как рельеф поверхности имеет множество микронеровностей с различными углами падения ионов на поверхность материала, то коэффициент распыления материала для каждого отдельного микроучастка поверхности будет различен (рис. 6). А меняя угол расположения подложки, ионы выбивают наиболее выступающие вершины, тем самым выравнивая поверхность.

#### **Выводы и заключение**

Проведя эксперименты травления, удалось снизить первоначальную шероховатость в несколько раз. Однако из-за достаточно высокой неравномерности, вызванной наличием крупного зерна у образцов, необходимо проводить некоторые предварительные механические операции для снижения первоначальной шероховатости, для того, чтобы достигнуть более высокого класса точности поверхности.

### **Литература**

1. *Костенко В.И., Серегин В.С., Грошкова Л.А., Василевич А.И.* Перспективы использования высокотеплопроводной керамики из нитрида алюминия в космическом приборостроении / Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении: труды семинара ИКИ РАН. – Таруса, 2004. – С. 250-256.
2. *Данилов Б.С., Киреев В.Ю.* Ионное травление микроструктур. – М.: Советское радио, 1979. – 104 с.

УДК 621.3.078.4

## ВАКУУМНАЯ НАПЫЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ДИСТАНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ

Максим Владимирович Кардашин,  
студент 5 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»

Установка для вакуумного напыления УВН-1 используется для наглядного проведения лабораторных работ по нанесению тонких пленок, для практических работ в рамках конструкторско-технологического практикума и для лабораторных работ по курсу «Системы автоматического управления». Благодаря использованию модульных фланцев напыление производится различными методами: магнетронным, термическим испарением и дуговым. Установка была разработана силами кафедры и позволяет управлять ею с любого компьютера, имеющего выход в интернет и специальное программное обеспечение. На экране компьютера отображается мнемосхема, позволяющая вводить управляющие команды и отображающая состояние установки. Кроме того, можно наблюдать за процессом с использованием управляемой телекамеры. Процесс работы фиксируется в компактном виде на жесткий диск управляющего компьютера и может быть расшифрован и визуализирован специальной программой.



Рис. 2. Внешний вид установки УВН-1

Описано взаимодействие основных устройств управления: персонального компьютера, формирующего человеко-машинный интерфейс и контроллера ADAM, управляющего элементами установки в жестком реальном времени, представлен состав, организация и работа программного обеспечения.

## ПЛАНАРИЗАЦИЯ ПОДЛОЖЕК ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Тюлькова Анастасия Александровна<sup>(1)</sup>, Кузовков Алексей Валерьевич<sup>(2)</sup>,  
студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 3 курса<sup>(2)</sup>, аспирант (2 год)<sup>(3)</sup>  
Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,  
Ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Среди современных материалов, применяемых в качестве оснований коммутационных плат СВЧ-приборов, выделяется металлокерамика из нитрида алюминия (далее - AlN), имеющая теплопроводность близкую к теплопроводности алюминия, что значительно выше, чем у широко используемой металлокерамики из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В то же время AlN безопасен в отличие от высокотоксичной бериллиевой керамики. Основным препятствием в использовании данного материала является высокая шероховатость бюджетных подложек из AlN.

Механическая планаризация поверхности бюджетных заготовок AlN приводит к выкрашиванию зерна и не даёт результатов, удовлетворяющих требованиям тонкоплёночной технологии.

Обзор способов планаризации показал, что существует ряд методов, позволяющих снизить шероховатость подложки AlN за счёт нанесения выравнивающих покрытий, которые затем могут быть сошлифованы и отполированы так, что впадины между зёрнами AlN окажутся заполненными.

В данной работе рассмотрены способы снижения шероховатости подложек из AlN механической обработкой, а также посредством нанесения планаризирующих покрытий на основе конструкционного фотополимера SU-8 [1], боросиликатного [2] и жидкого (spin-on glass) [3,4] стекол.

Планаризация подложек AlN с помощью легкоплавких стекол [2] может сделать возможным последующее нанесение функциональных слоев, требующих отжига при температурах 400-500°C. Однако этот метод требует дополнительного оборудования (печей, сушильных шкафов).

Применение жидких spin-on-glass (SOG) стёкол в качестве планаризирующих покрытий выглядит перспективным вариантом снижения шероховатости подложек в силу простоты технологического процесса. Покрытие формируется золь-гель методом и позволяет добиться шероховатости Rz=0.05 мкм [3,4].

Нанесения в качестве планаризирующего покрытия фоторезиста SU-8 [1] технологично и не требует дорогостоящего оборудования. Диапазон рабочих температур изделий – до 250°C. Добавление наноразмерных порошков диоксида кремния влияет на его механические свойства (повышается твердость).

### Литература

1. <http://micromachine.narod.ru/su-8.htm>
2. <http://www.telogik.ru/study-27-23.html>
4. В.А. Пилипенко, В.Н. Пономарь, В.А. Горушко, В.В. Понорядов, Н.С. Кускова,  
1. А.В. Демьянович. Планаризация межуровневого диэлектрика с использованием жидкого стекла [Текст] / В.А. Пилипенко, В.Н. Пономарь, В.А. Горушко, В.В.

Понорядов, Н.С. Кускова, А.В. Демьянович // Вестник БГУ. – 2005 г. – № 3. – С. 32-36.

5. Nguyen Nhu Toan. Spin-on glass materials and applications in advanced IC technologies.- The Netherlands, Enschede : University of Twente, 1999. – 148 с.

**УДК 621.389**

## **УМЕНЬШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДЛОЖЕК AlN С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ИОННЫМ ТРАВЛЕНИЕМ**

Юлия Сергеевна Макарова<sup>(1)</sup>, Алина Александровна Доброносова<sup>(1)</sup>, Денис Дмитриевич Васильев<sup>(2)</sup>,  
студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса,<sup>(2)</sup>  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

### **Введение**

Основной наиболее характерной тенденцией развития технологии микроэлектроники является непрерывное повышение точности изготовления как элементов «традиционных» ИС, так и микроструктур, на основе которых строятся приборы функциональной микроэлектроники. Дальнейшее повышение быстродействия и степени интеграции требует получать при массовом изготовлении элементы с субмикронными размерами. Получение данных элементов требует высокой точности выполнения операций, применяемых при изготовлении ИС. Соответственно, также необходимо соответствовать требованиям высокой точности предварительной обработки основ ИС – подложек [1].

Развитие ряда областей новой техники вызывает необходимость создания керамических материалов, характеризующихся высокой термической стойкостью, инертностью к агрессивным средам, значительной механической прочностью и хорошими электроизоляционными свойствами и высокой теплопроводностью. Одним из наиболее перспективных материалов, отвечающих этим требованиям, является керамика на основе нитрида алюминия. Применяемый в настоящее время разработчиками электронной аппаратуры оксид бериллия, который имеет лучшую среди диэлектриков теплопроводность, является остродефицитным, малодоступным и высокотоксичным материалом. В связи с этим приобретает особое значение поиск альтернативного материала. Одним из таких материалов является нетоксичный экологически чистый нитрид алюминия. К тому же, керамика из нитрида алюминия по коэффициенту теплового расширения ближе к кремнию и арсениду галлия, основа большинства кристаллов, применяемых в электронике, чем керамика из оксида бериллия [2].

Состояние поверхности подложки оказывает существенное влияние на структуру наносимых пленок и параметры пленочных элементов. Большая шероховатость поверхности подложки, наличие на ней микронеровностей уменьшают толщину пленок, вызывают локальное изменение электрофизических свойств пленок и тем самым снижают воспроизводимость параметров пленочных элементов и их

надежность. Поэтому подложки для тонкопленочных ИМС должны иметь минимальную шероховатость, быть без пор и трещин. Так, при нанесении тонких пленок толщиной до 100 нм допустимая высота микронеровностей не должна превышать 25 нм, что соответствует 14-му классу чистоты поверхности подложек.

В данной работе было исследовано влияние режимов ионного травления (в том числе и реактивного) подложек нитрида алюминия с предварительной механической обработкой на значения шероховатости подложек.

### **Выводы и заключение**

По результатам полученных измерений можно заключить, что при реактивно-ионном травлении уменьшается параметр Peak-to-peak, тогда как шероховатость остается на таком же уровне, а при травлении только в среде инертного газа (аргона) шероховатость предварительно механически обработанных подложек увеличивается. То, что значение параметра Peak-to-peak остается неприемлемо большим даже при реактивно-ионном травлении, позволяет сделать вывод о слишком низком качестве исходной подложки. Тогда как для уменьшения шероховатости следует подбирать иные углы обработки вследствие зависимости коэффициента распыления от угла ионного травления.

### **Литература**

1. Данилов Б.С., Киреев В.Ю. Ионное травление микроструктур. – М.: Советское радио, 1979. – 104 с.
2. Непочатов Ю.К., Земницкая А.А., Муль П. Разработка керамики на основе нитрида алюминия для изделий электронной техники. / Современная электроника. – 2011, №9. – С. 14-16.

**УДК 543.271, 533.5.08**

## **МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ВИБРОИЗОЛЯЦИИ**

Мария Сергеевна Мосина,  
студентка 4 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Базиненков,  
Кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

### **Аннотация**

Современное прецизионное оборудование нуждается в точном позиционировании объектов и виброизоляции. Для этой цели создано множество приводов с разными принципами действия и, соответственно, характеристиками, но ни один из них нельзя назвать универсальным из-за широкого диапазона требований. Поэтому был спроектирован привод на основе магнито-реологической жидкости, который имеет характеристики, отвечающие полному комплексу требований прецизионного оборудования.

В данной работе проведен анализ существующих видов приводов точного позиционирования, их принципов действия и характеристик.

УДК 620.179.1

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ЗАКОНА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАКУУМНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ**

Михаил Анатольевич Николаев,  
*магистр 2 года,*  
*кафедра «Электронное Машиностроение»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов,*  
*доктор технических наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение»*

В работе обоснована целесообразность применения метода струйно-абразивной обработки для резки полупроводниковых пластин на кристаллы для нужд электронной промышленности. Установлено, что регулировка скорости перемещения сопел способна повысить эффективность обработки пластин.

Пневмогидравлический привод с электрореологическим регулированием скорости штока может быть успешно применен для регулировки скорости движения сопел при струйно-абразивной обработке в диапазоне 0.05...0.3 м/сек.

Экспериментальные исследования показали, что при подаче малого управляющего напряжения в 450В происходит изменение скорости движения штока на 30%.

### **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.
3. Механика и физика точных вакуумных механизмов: Моногр., В 2 т. / А.Т. Александрова, Н.С. Вагин, Н.В. Василенко и др.; Под ред. Е.А. Деулина. – М.: НПК «Интелвак»; Вакууммаш, 2002. – Т.2. – 152 с.

УДК 537.58

## **ВЫБОР МАТЕРИАЛА И КОНСТРУКЦИИ ИСПАРИТЕЛЯ**

Мария Михайловна Присяжная<sup>(1)</sup>, Сергей Сергеевич Сузый<sup>(2)</sup>,  
*студенты 4 курса<sup>(1),(2)</sup>,*  
*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Л.Л. Колесник,*  
*кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Целью данной статьи является знакомство с методом пароструйного осаждения тонких пленок, экспериментальными результатами взаимодействия материалов и теоретическим обоснованием данных результатов.

Технология пароструйного осаждения (англ. Jet Vapor Deposition (JVD)) основана на использовании высокоскоростных струй инертного газа для нанесения компонентов требуемого материала.

В настоящее время осуществляется нанесение всех элементарных и легкосплавных припоев, например, In, Sn, AuSn, InBi, InSn.

Для проведения экспериментальных опытов пароструйного осаждения в лабораторных условиях был реализован стенд, включающий в себя вакуумную камеру, источник пароструйного осаждения, камеру подачи материала, средства откачки и регулирования условий проведения экспериментов.

Был проведен ряд опытов, анализ которых позволил выбрать наиболее подходящие материалы и конструкцию испарителей, а также наиболее подходящие условия нанесения и влияние давления и силы тока на процесс нанесения.

Контактное плавление (КП) — это фазовый переход I рода, при котором в контакте двух (или более) разнородных кристаллов появляется жидкость при температуре ниже температуры плавления легкоплавкого кристалла.

Огромную важность имеет проявление эффекта Ребиндера, т.е. адсорбционного понижения прочности твёрдых тел, облегчение деформации и разрушения твёрдых тел вследствие обратимого физико-химического воздействия среды. Данный эффект весьма универсален — наблюдается в твёрдых металлах, ионных, ковалентных и молекулярных моно- и поликристаллических телах, стеклах и полимерах, частично закристаллизованных и аморфных, пористых и сплошных.

Основное условие проявления эффекта Ребиндера — родственный характер контактирующих фаз (твёрдого тела и среды) по химическому составу и строению. Характерная форма проявления эффекта Ребиндера — многократное падение прочности, повышение хрупкости твёрдого тела, снижение его долговечности. Так, смоченная ртутью цинковая пластина под нагрузкой не гнётся, а хрупко разрушается. С падением прочности и повышением хрупкости мы столкнулись в результате проведения эксперимента.

#### **Выводы:**

Был проведен ряд экспериментов, в результате анализа которых выяснилось, что:

- Материал испарителя: предпочтителен вольфрам, тантал и молибден не подходят;
- Конструкция испарителя: спиральный тигель, лодочка не подходит.

#### **Заключение**

Был проведен обзор технологии нанесения тонких пленок методом пароструйного осаждения, изучены условия проведения процессов и технические возможности данного метода. Технология JVD-нанесения с источником в виде подачи проволоки была использована на практике в изучаемой лабораторной установке.

В результате выполнения лабораторных экспериментов были выявлены преимущества данного метода, а также возникающие проблемы, исходя из чего были подобраны наилучшие сочетания материалов, используемых в качестве испарителя и горячей нити. Изучены условия проведения экспериментального нанесения тонких пленок и влияние на процесс нанесения и качество пленки таких параметров как давление и сила тока

## Литература

1. P. Martin. Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings. Elsevier Inc, 2010. ISBN 978-0-8155-2031-3.
2. Electron Jet Vapor Deposition System. B. Halpern. United States Patent 5,571, 332. November 1996.
3. Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition and Jet Vapor Deposition of CdTe for High Efficiency Thin Film PV Devices. Final Technical Report. L. Woods, P. Meyers. National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2002.
4. Диаграмма состояния двойных металлических систем. Под общей ред. Лякишева, Т.2, М.: Машиностроение, 1997. — 1024 с.
5. Ребиндер П. А., Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика, Избр. труды, М., 1979.

УДК 544.22

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМАРНО ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИСУЛЬФИДОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Алексей Станиславович Самарцев,  
*студент 3 курса, бакалаврит,*  
*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,*  
*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Беликов,*  
*кандидат наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В настоящее время изучение двумерных или иначе 2D-материалов (2 dimension, dimension – *англ.* измерение) находится на передовом крае науки. Первым полученным (в 2004 году) подобным материалом стали монослой углерода, так называемый графен. За открытие специфических свойств в графене физики А.К. Гейм и К.С. Новоселов получили в 2010 году Нобелевскую премию по физике.

Но материалы, практически и теоретически, имеющие двумерную структуру были известны почти так же давно как и графен. Полагая, что особыми свойствами обладают все 2D-материалы, ученые разных стран обратили усилия на открытие таких свойств в других двумерных материалах. Уже начиная с 2011 года, публикуются первые работы посвященные исследованию таких материалов. В частности, 30 января 2011 года швейцарские ученые опубликовали исследования посвященные перспективам дисульфида молибдена в качестве полупроводникового материала для наноэлектроники [1]. В настоящее время обнаружено не менее 92 потенциальных аналогов графена, среди которых такие материалы как: нитрид бора, дисульфид молибдена, дисульфид вольфрама, диселенид молибдена, теллурид ртути и теллурид висмута и другие. 52 материала из списка уже рассматриваются в качестве перспективного двумерного материала [2].

Основным требованием к полупроводниковому материалу в электронике является наличие достаточно широкой запрещенной зоны. Монослой дисульфида молибдена обладает требуемой запрещенной зоной. В то время как графен является проводником и ни о какой запрещенной зоне в нем говорить не приходится, монослой дисульфида молибдена имеет прямую запрещенную зону шириной в 1.79 эВ [3] (у кремния только около 1 эВ). Прямая запрещенная зона значительной ширины так же

важна для изготовления таких устройств, как светодиоды, солнечные батареи, фотоприменики и т.д. Подвижность свободных зарядов в дисульфиде молибдена оценивается в  $100 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , некоторые ученые сообщают о возможности достижения значения в  $480 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , если использовать в качестве подложки полимер [4].

Стоит обратить внимание и на технологические свойства  $\text{MoS}_2$ . О них стоит сказать, что во-первых  $\text{MoS}_2$  встречается в большом количестве в виде минерала – молибденита, чья добыча для нужд нанoeлектроники не вызовет особых сложностей, учитывая, что слоистый, не двумерный дисульфид молибдена уже давно используется в качестве твердой смазки. Во-вторых,  $\text{MoS}_2$  не склонен окисляться или взаимодействовать с водяным паром в атмосфере до температур в  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ , не реагирует с разбавленными кислотами и щелочами, не растворяется в воде, без доступа воздуха разлагается только при температуре около  $1100^\circ\text{C}$ , с большинством веществ реагирует только при нагреве. Имеет стабильные свойства до температур в  $350^\circ\text{C}$ . Иначе можно сказать, что рассматриваемый материал не склонен к деградации при эксплуатации за счёт химических реакций. В-третьих, методы его получения не являются уникальными и хорошо известны.

Можно выделить как минимум 4 общих направления в методах получения (синтеза)  $\text{MoS}_2$ :

- механический пилинг («Скоч-метод»)
- отшелушивание в среде растворителей под действием ультразвука
- химическое осаждение из газовой фазы в среде защитных газов (CVD)
- облучение многослойного  $\text{MoS}_2$  зеленым лазером

У дисульфида молибдена, дисульфида вольфрама может быть много различных применений. О перспективах использования дисульфидов тугоплавких элементов в солнечных батареях, фоточувствительных матрицах, различными учеными проведены соответствующие исследования. Дисульфид вольфрама может использоваться как ключевой компонент для создания термоэлектрических нанолитов.

У дисульфида молибдена есть большой потенциал в области нанoeлектроники. Так, базовый компонент электроники – транзистор, может быть создан на основе  $\text{MoS}_2$  и углеродных нанотрубок. На основе такого же сочетания был создан полупроводниковый диод. Ученые из МИТ создали логические схемы из полупроводниковых элементов.

Практическим же применением, могут стать гибкие жидкокристаллические дисплеи, флеш-устройства с вместительностью во много раз большей, чем у современных аналогов, создание биосенсоров, высокочастотных датчиков на основе наномеханических резонаторов и многое другое. Круг устройств, которые могут быть созданы на основе нанoeлектроники, потенциально будет иметь свойства и преимущества, которые не могут предложить современные аналоги. Более того, потенциал 2D-материалов в целом и в нанoeлектронике в частности ещё не до конца ясен. Некоторые ученые, как, например Виктор Атучин из Института физики полупроводников СО РАН, считает, что главная особенность нанoeлектроники будет не в простой количественной миниатюризации или замене микроэлектроники, а в качественных отличиях, не доступных ей. Вероятно, что в будущем будут созданы принципиально новые устройства.

Но пока, даже на стадии опытного образца, не создано ещё ни одного нанoeлектронного устройства. Создание отдельных компонентов или целых схем ещё не гарантирует создание всего изделия в целом. Тем не менее, прогресс в этом направлении идет быстро. В скором времени можно ожидать первые попытки в этом направлении.

## Литература

1. *B. Radisavljevic, J. Brivio, V. Giacometti & A. Kis* Single-layer MoS<sub>2</sub> transistors – Nature Nanotechnology 30.01.2011
2. *S. Lebègue, T. Björkman, M. Klintonberg, R. M. Nieminen, and O. Eriksson* Two-Dimensional Materials from Data Filtering and *Ab Initio* Calculations – Phys. Rev. X 3, 8.01.2013
3. *Eugene S. Kadantsev, Pawel Hawrylak* Electronic structure of a single MoS<sub>2</sub> monolayer – Solid State Communications, 10.02.2012
4. *Wenzhong Bao, Xinghan Cai, Dohun Kim, Karthik Sridhara and Michael S. Fuhrer* High mobility ambipolar MoS<sub>2</sub> field-effect transistors: Substrate and dielectric effects – Applied Physics Letters 102, 29.01.2013

УДК 533.59

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ УСТАНОВКИ МВТУ-11-1

Юрий Николаевич Смирнов<sup>(1)</sup>, Александр Сергеевич Бабурин<sup>(2)</sup>,  
студент 4 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Масс-спектрометрия – метод исследования вещества, основанный на определении отношения массы к заряду ионов, образующихся при ионизации представляющих интерес компонентов пробы. В связи с развитием в последние годы перспективных технологий в области наноматериалов, разработки и получения новейших образцов с уникальными физико-химическими свойствами особое внимание уделяется аналитическим системам для выполнения точного, экспрессного анализа с возможностью количественного определения примесных компонентов при давлениях от  $10^{-2}$  до  $10^{-7}$  Па, поэтому масс-спектрометрия сегодня является один из самых мощных методов анализа вещества, поскольку может с высочайшей точностью измерять фундаментальную характеристику индивидуальной молекулы (атома) – массу.

Для анализа остаточной атмосферы с целью выявления примесных компонентов и, в конечном итоге, повышения качества наносимых пленок на малогабаритной вакуумной установке МВТУ-11-1, использовался квадрупольный масс-спектрометр Extorr 200.

Квадрупольный масс-анализатор служит для разделения ионов по их соотношению массы к заряду ( $m/z$ ), которое в свою очередь определяется траекториями движения ионов, задаваемыми переменным электрическим полем. Квадруполь представляет собой четыре параллельно и симметрично расположенных монополя (электроды круглого сечения). К электродам попарно в противоположной полярности подаётся определённая комбинация постоянного и высокочастотного напряжения

При типовом процессе ВЧ распыления (магнетроном на переменном токе) используется рабочие газы: аргон, кислород, азот, количество и парциальное давление

которых напрямую влияют на свойства получаемых покрытий, поэтому данное исследование представляет большую важность для выявления методов улучшения получаемых свойств осаждаемых тонких пленок.

Также представляла интерес величина парциальных давлений остаточных газов. При напуске кислорода прогнозировались пики на величине, в основном 32, а также всплеск на 16 а.е.м (молекулярное/ионизированное состояние), при напуске аргона - на величине 40 и 20 а.е.м, при напуске азота - 28 и 14, соответственно.

При анализе полученных результатов были обнаружены немного отличающиеся результаты: интенсивность сопутствующих пиков (16, 20, 14) порой превышала ожидаемые значения основных пиков и заявленные поставщиком относительные цифры, а также пики на величине 18 а.е.м (вода), что указывает на необходимость более долгой и тщательной процедуры продувки газом трубок.

Несоответствие интенсивности пиков обусловлено тем, что в процессе ионизации в результате ионной бомбардировки образуются не только однозарядные, но и двухзарядные ионы, а также происходит частичная диссоциация сложных молекул. Разделение ионов в анализаторе зависит от отношения массы иона к его заряду, поэтому в случае многоатомного газа анализатор будет давать несколько пиков (для каждого значения отношения массы иона к заряду).

Полученные результаты обеспечивают полную картину остаточных газов, на основании которых будут внесены изменения в технологический процесс осаждения, а также дают возможность для использования масс-спектрометра в для иных задач, например, течеискания.

## Литература

1. Браун Я. Физика и технология источников ионов. – М.: Мир, 1998. – 496 с.
2. Пупышев А.А., Сермягин Б.А. Дискриминация ионов по массе при изотопном анализе методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. – Электронная версия, 2006.

УДК 543.271; 533.5.08

## СИСТЕМА АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Сергеевич Селиваненко,  
студент 6 курса,  
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»

Материалы на основе магнитореологических эластомеров (МРЭ) используются для изготовления демпферов автомобилей благодаря их свойству изменять жесткость под воздействием магнитного поля. Благодаря скорости реакции МРЭ на изменение магнитного поля открывается возможность для их использования в устройствах активной виброизоляции для вакуумного нанотехнологического и исследовательского

оборудования, в том числе, например, для вакуумного сканирующего зондового микроскопа.

Экспериментальная платформа (рис. 1), разрабатываемая в лаборатории кафедры «Электронных технологий в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана состоит из демпфера I и датчика II вибраций.

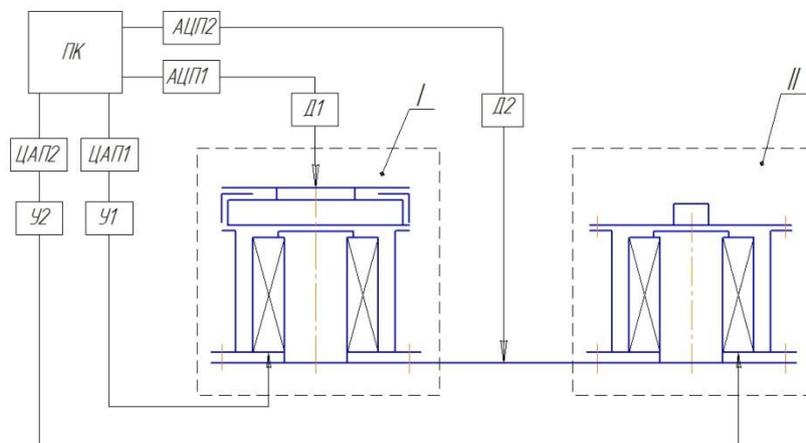


Рис. 1. Схема экспериментальной платформы

Управление активным демпфером [2] осуществляется за счет изменения уровня управляющего тока на катушке электромагнита. В зависимости от тока коэффициент жесткости мембраны изменяется и его можно вычислить по формуле:

$$k = \frac{S_{cl}}{h} (KB^2 \varphi_v + G) = \frac{S_{cl}}{h} (9,81 \cdot 10^{12} (B/5000)^2 \varphi_v + G)$$

С помощью разработанных в среде LabView программ в пассивном режиме работы платформы были исследованы такие характеристики демпфера, как коэффициент передачи амплитуды колебаний в зависимости от управляющего тока при различных вариантах установки экспериментальной платформы – с дополнительной пассивной виброизоляцией платформы и без нее.

Петли гистерезиса, полученные для токов 0–2 А (рис. 2) характеризуют степень поглощения энергии колебаний системой, наибольшая остаточная деформация наблюдается при токе 2 А.

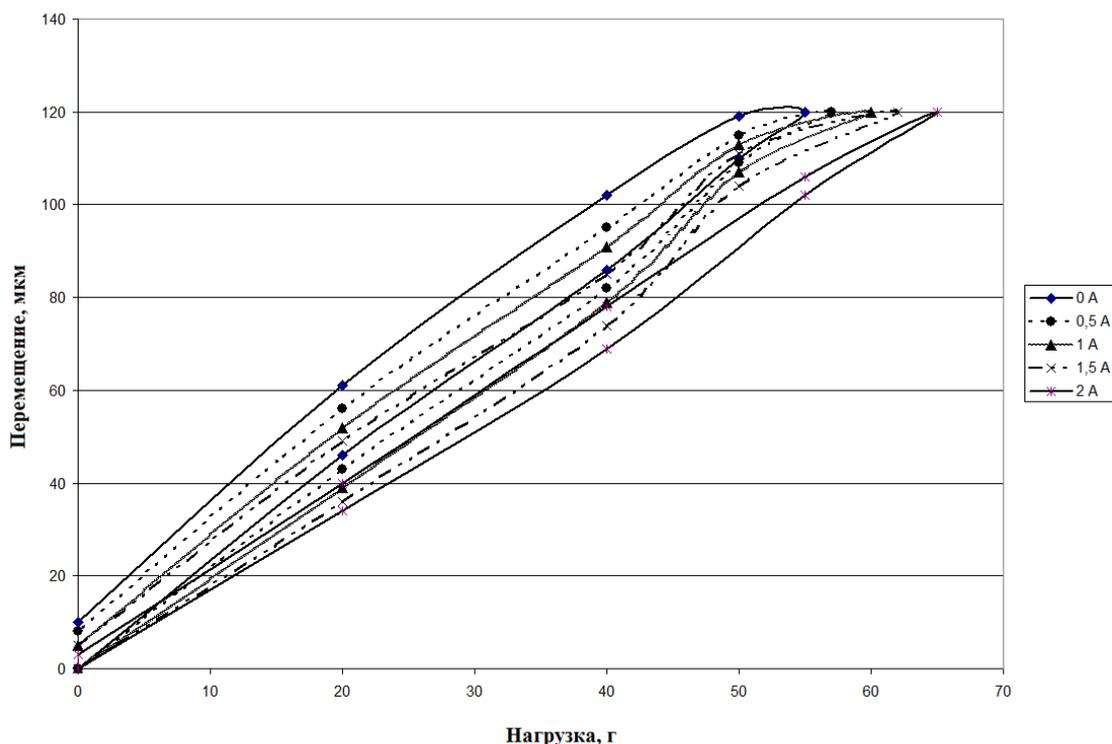


Рис. 2. Гистерезис перемещения для различных значений тока

### Выводы

1. Использование МР-эффекта позволяет регулировать коэффициент жесткости  $k$  упругой мембраны за счет изменения величины магнитной индукции  $B$ , и, соответственно, частотные и точностные характеристики устройств активного демпфирования и микропозиционирования.
2. В рамках проводимой научно-исследовательской работы был исследован коэффициент поглощения колебаний магнитореологическим эластомером при различных управляющих токах.
3. Была протестирована система управления активным демпфером, проведены исследования зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний от силы тока для фиксированной частоты задатчика вибраций 100 Гц, исследована зона нечувствительности и остаточная деформация МР-демпфера при работе в диапазоне токов 0-2 А.

### Литература

1. Управление активной виброизоляцией и позиционированием магнитореологических устройств / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, А.М. Базиненков, И.К. Зобов, К.Г. Шаков. Нано- и микросистемная техника. - 2011, №7, - С. 5 – 9;
2. Пат. 2404381 Российская Федерация, МПК F 16 F 9/53, F 16 F 15/03. Активная опора / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, Д.Ю. Борин, И.К. Зобов, Е.Ю. Крамаренко; заявл. 30.09.2009; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32. - 9 с.

## СПОСОБ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

Наталья Владимировна Баданова,  
*студентка 4 курса,*  
*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»*

Спрос на надёжные силовые полупроводниковые модули высокой мощности и приемлемой стоимости вызван развивающимся рынком силовых преобразовательных устройств: приводов, систем управления энергопотреблением, источников бесперебойного питания, импульсных источников питания, электрических транспортных средств.

Основным элементом силового модуля является металлизированная керамическая подложка, на которой расположены силовые полупроводниковые кристаллы.

Используемая для подложек керамика негигроскопична, термостойка, является изоляционным материалом с высокими механическими и электрическими свойствами. Она отличается сравнительной простотой изготовления и невысокой стоимостью. При изготовлении силовых модулей используются керамические подложки из  $Al_2O_3$  или  $AlN$  с медным слоем с обеих сторон керамической пластины.

Одной из ключевых технологических операций в процессе производства силовых модулей является проведение металлизации керамической подложки. Металлизация совместно с последующими операциями формирования топологии токопроводящих дорожек обеспечивает необходимую функциональность подложки в части передачи электрических сигналов между электронными компонентами, которые будут смонтированы на подложке в дальнейшем.

Методы вакуумного нанесения тонкоплёночных покрытий основаны на создании направленного потока вещества и последующей конденсации его на поверхностях подложек. Пленка на подложке образуется при конденсации материала.

В данной работе рассматривается метод нанесения тонкой пленки на керамическую подложку термическим испарением в струе инертного газа, движущегося со сверхзвуковой скоростью. Данный метод 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. 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.

Анализ образцов показал, что пленка обеспечивает полное покрытие поверхности подложки. Обладает равномерной плотной структурой. Не имеет явно выраженных посторонних дефектов и включений.

### Литература

1. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В. Вакуумная техника: справочник.-М.: Машиностроение, 2009. 590 с.
2. Карпенко А.Ю., Батурин В.А. Источники кластерного пучка. Часть 2. Формирование кластерных пучков в сопловых источниках.// JOURNAL OF NANO-AND ELECTRONIC PHYSICS.-2012,Т.4.- №4.
3. US. Patent 5571332 – Electron Jet Vapor Deposition System, 1996



## **Секция XII**

### **Лазерные технологии в машиностроении**

Председатель:

**Григорьянц Александр Григорьевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Лазерная техника и технология» (МТ-12)

Ученый секретарь:

**Богданов Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерная техника  
и технология» (МТ-12)

## КОРРЕКТИРОВАНИЕ ФОРМЫ КАНАЛОВ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРУЕМОЙ ПЛАЗМОЙ

Елизавета Александровна Баландина<sup>(1)</sup>, Михаил Михайлович Чунаев<sup>(2)</sup>,  
студент 4 курса<sup>(1)</sup>, бакалавр 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерная физика и технология»,  
ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия имени  
В.А.Дегтярева»

Научный руководитель: М.Н. Ериков<sup>(1)</sup>, С.А. Солохин<sup>(2)</sup>,  
доцент кафедры «Лазерной физики и технологии»<sup>(1)</sup>,  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Лазерной физики и  
технологии»<sup>(2)</sup>

Сегодня технология лазерного сверления конструкционных материалов достаточно широко востребована и находит практическое приложение во многих отраслях науки техники [1-2]. Изделия с использованием глубоких каналов диаметром в несколько десятков микрон активно применяются в опто- и микроэлектронике, авиастроении, а также других наукоемких высокотехнологичных отраслях современной промышленности. Однако существенным недостатком лазерной технологии остается конусность обрабатываемых отверстий, что, во многом связано, со спецификой формирования профиля светового пучка фокусирующей системой, особенностями распространения луча в глубоком капилляре, а также рядом других факторов.

В современном производстве устранить конусность и добиться высокой степени цилиндричности боковых стенок каналов удастся для образцов малых толщин (обычно не более 1-2 мм), что существенно сдерживает внедрение и активное использование лазерной технологии. Однако, как показывает практика, технологические недостатки обработки удастся минимизировать при управлении процессами лазерной генерации и оптимизации параметров луча.

Так, ранее уже был предложен метод формирования сверхглубоких каналов хорошего технологического качества в различных, в том числе твердых и жаропрочных материалах, при адаптированном управлении режимом генерации лазера в процессе воздействия на обрабатываемую мишень [3]. При этом были показаны возможности увеличения глубины и уменьшения времени формирования канала отверстия при подавлении плазменной экранировки, увеличении скорости фронта разрушения и обеспечении выноса материала на каждом временном этапе формирования глубокого канала. Использование специального пассивного лазерного затвора на кристалле  $\text{LiF:F}_2^-$  с переменным начальным пропусканием позволяло плавно и в широких пределах изменять энергетические и временные параметры выходного излучения (энергию импульсов, их длительность и частоту повторения) лазера [4]. В настоящей работе с использованием данной методики управления модуляцией излучения лазера отработаны технологические приемы по повышению качества сверления глубоких каналов в образцах из различных конструкционных материалов.

Суть работы заключается в реализации такого режима работы лазера, при котором внутри уже просверленного канала специально инициируется лазерно-индуцируемая плазма. При этом управление процессом лазерной генерации обеспечивает перемещение области локализации плазмы по оси канала, что позволяет

использовать ее в качестве рабочего инструмента для корректирования профиля формируемого канала.

Экспериментальная часть работы выполнялась с использованием мощного одномодового петлевого ИАГ:Nd-лазера с самообращением волнового фронта и пассивной модуляцией добротности [5]. Управление режимом генерации осуществлялось с помощью изменения оптического пропускания пассивного лазерного затвора. В качестве обрабатываемых материалов использовались сталь, алюминий, а также твердые тугоплавкие материалы – никелевый сплав Inconel 718 и керамики:  $Al_2O_3$ , AlN и SiC.

При проведении исследований на этапе окончания процесса сверления сквозного отверстия в образце специально инициировалась лазерно-индуцируемая плазма путем уменьшения оптического пропускания пассивного лазерного затвора. При этом уменьшение пропускания позволяло смещать область локализации плазменного факела вверх ко входу в канал, а при увеличении пропускания – вперед по ходу пучка. Такое периодическое изменение пропускания затвора позволяло контролируемо увеличивать диаметр отверстия в месте локализации плазмы и обеспечить финишную чистовую корректировку формы канала. При выполнении работы были получены полностью цилиндрические отверстия диаметром 300 мкм и глубиной 7 мм в детали «лопатка турбины», выполненном из никелевого сплава Inconel 718. Эксперименты с использованием керамических материалов  $Al_2O_3$ , AlN и SiC позволили получить цилиндрические каналы глубиной до 3 мм и диаметром 80–300 мкм.

Таким образом, исследованный в работе метод инициирования лазерно-индуцируемой плазмы внутри просверленного канала с ее последующим многократным перемещением по оси глубокого канала позволил существенно минимизировать, а в ряде случаев, полностью устранить конусность геометрической формы каналов и получить цилиндрические отверстия глубиной до 10 мм и диаметром 80–300 мкм в различных конструкционных материалах.

### Литература

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. М., Машиностроение, 1985.
2. Токарев В.Н. Квантовая электроника, 36, 624 (2006).
3. Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Осико В.В. и др. Квантовая электроника, 37, 99 (2007).
4. Басиев Т.Т., Федин А.В., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н. Известия АН. Серия физическая, 9, 1909 (1999).
5. Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н., Федин А.В. ДАН, 408, 614 (2006) [Doklady Physics, 51, 296 (2006)].

УДК 535.361

### АНАЛИЗ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РАССЕЙВАЮЩИХ СРЕД

Денис Адреевич Баранов<sup>(1)</sup>, Денис Константинович Кретов<sup>(2)</sup>,  
студент 2 курса<sup>(1)</sup>, студент 2 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*Научный руководитель: М.А. Якимова,  
аспирант кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

В настоящее время разработано большое количество оптических методов определения концентрации компонентов в смесях и оборудования для их реализации.

Наиболее широко распространены спектральные методы анализа и различные их модификации, в частности, спектрофотометрия. Благодаря простоте проведения экспериментов, отсутствию сложной подготовки пробы этот метод широко применяется при исследовании прозрачных жидкостей. При анализе рассеивающих жидкостей погрешность этого метода становится высокой. В этом случае нужно использовать специальное оборудование, позволяющее учесть рассеяние излучения. Для этого подходят, например, методы измерения индикатрисы рассеяния при помощи гониометра или интегрирующая сфера.

Для того, чтобы получить точные результаты измерений, требуется правильно выбрать способ определения концентрации вещества. Данная работа посвящена определению границ значений мутности вещества, при которых еще можно использовать спектрофотометр, а выше которых нужно переходить на использование интегрирующей сферы.

В качестве образцов использовалось два вещества. Первое – это раствор полидисперсного латекса в воде. Второе – молоко. Был приготовлен ряд образцов этих жидкостей, разбавленных водой в разных соотношениях.

Первая часть работы посвящена теоретическому расчету концентрации частиц в среде, при которой влияние рассеяния на результаты измерений начинает превышать допустимую погрешность.

Вторая часть работы, практическая, посвящена сравнению данных о поглощении пробы, полученных с использованием спектрофотометра и интегрирующей сферы. При малых концентрациях вещества мощность поглощенной энергии, измеренная этими способами одинакова, а значит одинакова и получаемая в результате концентрация вещества. При увеличении концентрации показания спектрофотометра и сферы начинают отличаться. За граничную концентрацию вещества, при превышении которой следует отказаться от использования спектрофотометра и начать использовать интегрирующую сферу, принята концентрация, при которой

Значения теоретической и экспериментальной граничной концентрации практически равны друг другу.

### **Литература**

1. *Michael Bukshab* Applied Photometry, Radiometry, and Measurements of Optical Losses.
2. *Стенхольм С.* Основы лазерной спектроскопии. Москва: Мир, 1987. 309 стр.
3. *Розенберг Г.В.* Физические основы спектроскопии рассеивающих веществ // Успехи физических наук. Апрель 1967. Vol. 91. No. 4. С. 569-608.

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ МАТЕРИАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Алексей Александрович Быков,  
студент 4 курса,  
кафедра «Машиностроительные Технологии»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Мисюров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Ресурсосберегающие технологии предполагают экономию энергии при обработке материалов. Лазерные методы отличаются сравнительно низким КПД, поэтому повышение эффективности лазерного воздействия является в настоящее время актуальной задачей [1]. Известны гибридные способы, позволяющие повысить эффективность лазерного воздействия, в частности за счет синергетического эффекта. Явление синергетического эффекта возникает при условии совмещения двух или более источников энергии, в результате чего происходит значительное возрастание эффективности воздействия источников энергии на материал.

Целью данной работы является определение эффективности лазерного воздействия при сварке закаливаемых сталей различных толщин.

Исследования проводились применительно низколегированной стали типа ХН2ГМ. Данные стали используются в сварных конструкциях, где требуется очень высокая прочность. Обычно она используется в качестве конструкционной стали в кранах или в другом крупном промышленном оборудовании, подверженном высоким нагрузкам.

В работе определяли эффективность лазерного воздействия при изменении толщины свариваемых пластин в диапазоне 1,5...4 мм.

В расчетах варьировали следующие показатели:

- Скорость в интервале 1 ... 5 см/с
- Расстояние между источниками -1 ... 1 см
- Диаметр пятна нагрева доп. источника 0,5 ... 1 см
- Толщину пластин 1,5 ... 4 см

Эффективность лазерного воздействия оценивали следующим образом [3]:

$$\mathcal{E} = \frac{P_{\text{л.и.}}^{\text{max}} - P_{\text{л.и.}}^{\text{min}}}{P_{\text{л.и.}}^{\text{max}}}, \text{ где}$$

$P_{\text{л.и.}}^{\text{max}}$  - мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при сварке без дополнительного источника тепла;

$P_{\text{л.и.}}^{\text{min}}$  - минимальная мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при гибридной сварке.

Все расчеты проводились по программе, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с СПбГУ, предполагающую использование распределенного

источника энергии в качестве дополнительного [2]. Результаты расчета можно отнести к лазерно-дуговой неплавящимся электродом или лазерно-световой сварке.

Ранее [3, 4] было установлено, что эффективность лазерного воздействия зависит от расстояния между лазерным и дополнительным источниками. Так же было установлено, что при увеличении скорости сварки, для того чтобы получить максимальную эффективность, необходимо чтобы дополнительный источник “шел” впереди лазерного и расстояние с увеличением скорости сварки должно возрастать.

Эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке закаливаемых сталей снижается с увеличением толщины свариваемых листов. Это справедливо в широком диапазоне скоростей и плотностей мощности дополнительного источника.

В ходе проведенных расчетов выяснилось, что при лазерной гибридной сварке эффективность лазерного воздействия снижается с увеличением толщины свариваемого материала. Увеличение скорости сварки приводит к снижению эффективности для всех исследованных толщин. При большом диаметре пятна дополнительного источника нагрева, с увеличением скорости сварки, толщина пластин перестает оказывать влияние на эффективность. С увеличением скорости сварки, необходимо отдалять друг от друга источники нагрева, причем дополнительный источник должен обгонять основной. Это справедливо для всех толщин материала. А так же, что при малых скоростях и толщинах материала, для повышения эффективности, нужно совмещать основной и дополнительный источник тепла. Чем выше плотность мощности дополнительного источника, тем эффективнее протекает процесс сварки исследованных толщин.

### Литература

1. *А.Г. Григорьяни, И.Н. Шиганов, А.М. Чирков.* Гибридные технологии лазерной сварки. Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – 68с.
2. *Г.М. Алексеев* и др. Перспективы применения светолазерных технологий. Автоматическая сварка, №5, 2005, с. 5-11.
3. *А.И. Мисюров, Хтет Аунг Лин.* Особенности сварки закаливаемых сталей лазерными гибридными источниками теплоты. ISSN 0236-3941. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. 2012 с.78-84
4. *А.И. Мисюров, А.А. Быков.* “Эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке”, Издатель "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038. ISSN 2307-0609
5. Молодежный научно-технический вестник # 06, июнь 2013

**УДК 621.791.725**

### ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА КРИОГЕННЫХ СТАЛЕЙ

Александр Владимирович Пересторонин,  
аспирант 1-го года,  
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»

В наши дни возрастает потребность в хранении и транспортировке сжиженного природного газа. Температура его кипения составляет минус 163 °С [4], что обуславливает особые требования к материалам для изготовления соответствующих резервуаров.

Широкое применение при изготовлении емкостей для сжиженного природного газа нашли хромоникелевые аустенитные стали типа 08X18H10, однако, ввиду их высокой стоимости, в последнее время начинают применяться хромникельмарганцевые стали аустенитного класса, легированные азотом, в которых дорогостоящий никель частично заменен марганцем.

Изготовление емкостей для сжиженного природного газа требует выполнения сварных соединений в толстостенных конструкциях из указанных сталей, что сопряжено с рядом технологических сложностей, главными из которых являются образование кристаллизационных и подсолидусных трещин, снижение коррозионной стойкости зоны термического влияния, широкая область действия высоких остаточных напряжений, значительные деформации и возможность порообразования [3].

Целью данной работы была оценка возможности использования лазерной сварки для изготовления крупногабаритных конструкций из новой азотосодержащей криогенной хромникельмарганцевой аустенитной стали.

Металлографические исследования показали, что расстояние между осями дендритов 1-го порядка при лазерной сварке сокращается почти в 4 раза по сравнению с его значением при дуговой сварке, расстояние между осями дендритов 2-го порядка – примерно в 2 раза, что, согласно известным данным, должно способствовать повышению технологической прочности [2] и улучшению механических свойств при низких температурах [5].

Известно также [1], что, особенности формы сварочной ванны и затвердевания металла при лазерной сварке положительно влияют на технологическую прочность сварных швов. Кроме того, размеры шва при лазерной сварке существенно меньше, чем при дуговой.

Применение лазерной сварки может также позволить существенно повысить коррозионную стойкость зоны термического влияния, поскольку, с одной стороны, существенно снижается ее протяженность, с другой – время пребывания металла в интервале температур активного выпадения карбидов.

На основе всего вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы:

- при сварке хромникельмарганцевых аустенитных сталей возможны образование кристаллизационных и подсолидусных трещин, снижение коррозионной стойкости зоны термического влияния и другие нежелательные явления;
- переход к применению процесса лазерной сварки, за счет снижения размеров шва и зоны термического влияния, выполнения шва за один проход, а также повышения дисперсности структуры металла должно позволить существенно повысить технологическую прочность и некоторые эксплуатационные параметры сварных соединений в конструкциях из хромникельмарганцевых аустенитных сталей.

## Литература

1. Гаврилюк В. С., Григорьянц А. Г., Иванов В. В., Щеглов М. Е. Особенности кристаллизации шва при лазерной сварке. // Автоматическая сварка, 1983, № 6, с. 27 – 29.

2. Григорьянц А. Г., Грезев А. Н., Федоров В. Г. и др. Сравнение технологической прочности соединений, выполненных лучевыми и дуговыми способами сварки. // Автоматическая сварка, 1980, № 10, с. 11 – 14.
3. Каховский Н. И. Сварка нержавеющей сталей. – Киев, Техніка, 1968 – 312 с.
4. ESAB Шведская промышленность, статья «Сварные танки для сталей 5 % и 9 % никеля для сжиженного природного газа»
5. Motomichi Kouyama, Taekyung Lee, Chong Soo Lee, Kaneaki Tsuzaki. Grain refinement effect on cryogenic tensile ductility in a Fe–Mn–C twinning-induced plasticity steel. Materials and Design 49 (2013) – p. 234 – 241.

**УДК 621.373.826**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПСЕВДООБЪЕМНЫХ БУКВ НА ПЛАСТИКЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ**

Дмитрий Владимирович Степанов,  
 студент 6 курса,  
 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»

В настоящее время существует несколько технологий маркировки пластика. Такие как лазерная маркировка, фрезеровка, гравировка при помощи пескоструйной обработки. Рассмотрим каждый метод. Метод Фрезеровки осуществляется остро заточенной вращающейся фрезой путем резки материала. При таком методе гравировки пластика выделяется много отходов в виде пластиковой крошки. Для ее удаления нужна специальная система аспирации с системой фильтров. Такое оборудование удаляет крошку в течение всего процесса гравировки. Таким образом предотвращается возможное загрязнение поверхности обрабатываемого материала. Следующий метод пескоструйная обработка или абразивная обработка – это метод маркировки, который основывается на повреждении поверхности обрабатываемого материала песком или иным абразивным порошком, распыляемым потоком воздуха из специального абразивоструйного аппарата. При соприкосновении абразивного порошка с обрабатываемым материалом его поверхность разрушается и тем самым создается маркировка. Регулируя давление и меняя зернистость песка, можно получить различную степень сплошной маркировки. Выше названные методы можно отнести методам макро воздействия на материал. Лазерная маркировка материала тяготеет к методам микро и даже нано воздействиям на материал в силу своей специфики [1]. Лазерная маркировка, имеет наиболее широкое распространение из всех вышеперечисленных методов, что обусловлено легкостью ее применения, возможностью маркировки различных материалов и доступностью используемого оборудования. Гравировка наносится при помощи лазерного луча, сфокусированного с помощью специальных зеркал и линз. В зависимости от режима работы лазера, параметров техпроцесса получают различное качество обработки и свойства полученного изделия[2]. Энергия лазерного луча настолько велика, что она способна испарить часть материала и выполнить маркировку на поверхности или внутри материала, причем пятно воздействия одиночных импульсов настолько миниатюрно,

что может применяться в нано технологиях [3]. Метод маркировки при помощи лазерного излучения обладает следующими достоинствами: многие лазерные станки занимают мало места, работают тихо, обучение работе на них не занимает много времени. С помощью лазерных маркеров и гравиров можно создавать такие детали, как крошечный текст, рисунок, нанести фотографию на поверхность или внутрь материала. Лазерный станок может работать с различными материалами и не требует для этого никаких модификаций. Далее мы будем рассматривать только обработку пластика. Достаточно часто для получения изделий с маркировкой или гравировкой используют специально разработанные для этих целей пластики. В нашем случае использовался пластик, не предназначенный специально для лазерной гравировки. Маркировка производилась на установке MARS 20J.

Установка MARS 20J предназначена для маркирования импульсным лазерным излучением с длиной волны 1060-1070 нм различного рода заготовок, инструментов и деталей из металлов и сплавов, полупроводниковых материалов, пластмасс и дерева путём нанесения символов, буквенно-цифровой или графической информации на их поверхность. В качестве источника лазерного излучения в установке используется иттербиевый волоконный лазер.

Для создания изображения используется специальное программное обеспечение. Применяется несколько видов программ, которые включают в себя создание двухмерной надписи, обработка и конвертация в нужный формат двухмерных файлов, программа управления установкой и настройкой необходимых параметров (установка размера обрабатываемой области, мощности, и т.д.). Идеология построения и взаимодействия этих программ соответствует описанным в [4].

При обработке этой марки пластика было замечено, что при определенных режимах работы лазера [5], материал не сгорает под воздействием излучения и не испаряется, а занимает промежуточное положение. При этом формируется определенный слой, который выглядит как объемная фигура. Для случая получения букв – это псевдо объемные фигуры, незначительно возвышающиеся над поверхностью обработанного материала.

На основании проведенных исследований изменяя параметры лазера были найдены режимы обработки, при которых достигается наилучшее качество обработанной поверхности, а также различные шрифты, обеспечивающие более качественный внешний вид изделия.

## Литература

1. Богданов А.В., Мельникова М.А., Мельников Д.М. Исследование особенностей взаимодействия лазерного излучения с полиэтиленом при маркировке. //Материалы IX международной научно-практической конференции «Современные научные достижения-2013». Прага, стр. 21-25.
2. Богданов А.В., Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И., Пырикова С.И., Богданова М.А. Перспективы использования лазерного излучения для создания структурных неоднородностей в полимерах. Известия вузов: Машиностроение, № 1, 2011г. с.63-69.
3. Богданов А.В., Савкин А.Н., Голубенко Ю.В. Лазерное излучение и нанотехнологии. Технология машиностроения 2013 .- № 11 .- С. 42 – 45
4. Богданова А.В., Богданов М.А. Программный комплекс для разработки технологических процессов лазерной обработки с использованием волоконного

- лазера. Машиностроитель-ные технологии, Сб. докладов Всероссийской научно-техн.конференции, Москва, 2008
5. Богданов А.В., Особенности оценки технологических возможностей промышленных лазеров. Технология машиностроения, №11, 2011

**УДК 53.083**

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИН ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПЛЕНОК**

Людмила Михайловна Ремез,  
*студентка 5 курса,*  
*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Е. Шупенев,*  
*аспирант 1 года,*  
*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Бурное развитие получили тонкопленочные технологии. На данный момент существует множество перспективных направлений. В каждом из них необходимо очень точно отслеживать толщину для сохранения требуемых свойств.

В частности, исследования в области термоэлектричества показали широкие перспективы по использованию тонкопленочных гетероструктур. Наиболее широко используемыми материалами в данной области являются теллуриды. Особенностью их использования является квантово-размерное взаимодействие наноструктурированного материала на электрон-фононные потоки, приводящее к увеличению термоэлектрической добротности и как следствие КПД преобразования энергии. Для достаточного проявления квантово-размерных эффектов необходимо создание качественных тонких структур, контролируемых с точностью до атомных величин.

**Эллипсометрия** — метод исследования свойств вещества на границе (поверхности) раздела различных сред по состоянию поляризации отраженного или преломленного света.

Достоинствами эллипсометрии являются простота и быстрота измерений (имеются автоматические эллипсометры), возможность производить их в ходе процесса, в вакууме, при высоких температурах, в агрессивных средах; кроме того, при экспериментах поверхности не загрязняются и не разрушаются. Главный недостаток метода — трудность правильного выбора модели отражающей системы и интерпретации результатов измерений.

Данный метод удобен при использовании материалов с известными оптическими постоянными, в частности, к простым веществам. Измерения термоэлектрических пленок, полученных методом PLD возможны с помощью эллипсометрии, но нецелесообразны ввиду необходимости проведения большого количества предварительных измерений оптических параметров из-за варьирования осаждаемой стехиометрии.

**Рентгеноструктурный анализ** (рентгенодифракционный анализ) — один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решётке.

Рентгеноструктурный анализ является распространенным методом определения структуры вещества в силу его простоты и относительной дешевизны.

Дифрактометр позволяет решить сразу несколько задач:

- Толщина
- Шероховатость
- Плотность
- Однородность поверхности

### **Спектроскопия обратного Резерфордского рассеяния (РОР)**

Спектроскопия резерфордского обратного рассеяния, как и спектроскопия ионного рассеяния, позволяет получать информацию о химическом составе и кристалличности образца как функции расстояния от поверхности образца (глубины), а также о структуре поверхности монокристаллического образца. Основной особенностью метода является использование высокоэнергетических ионов, проникающих глубоко внутрь твердого тела и рассеивающихся обратно от глубоко лежащего атома.

В целом, характеризуя метод обратного Резерфордского рассеяния, можно указать, что он наиболее эффективен при изучении пленок, содержащих тяжелые атомы, которые нанесены на подложки, состоящие из атомов с малым атомным номером.

### **Растровая электронная микроскопия**

Использование растровой развертки электронного луча по поверхности образца является одним из способов автоматизации измерений. По своим возможностям РЭМ является продолжением оптической микроскопии, расширяющей ее возможности в исследовании топологии поверхностей кристаллических материалов.

Достоинством РЭМ является возможность в целом ряде случаев проводить исследования образцов практически без предварительной подготовки поверхности. Толщина образцов для РЭМ не имеет определяющего значения.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ, частный случай РЭМ) является наиболее универсальным классическим методом исследования структурных дефектов кристаллов, используется непосредственно для анализа морфологических особенностей, ориентации дефектов относительно решетки матрицы, определения их размеров.

**Атомно-силовая микроскопия (АСМ)** — один из методов зондовой сканирующей микроскопии, применяемый для исследования локальных свойств поверхности, в котором анализируют силу взаимодействия иглы кантилевера (зонда) с поверхностью исследуемого образца в процессе сканирования.

С помощью АСМ определяются:

- толщина пленки
- шероховатость
- дефекты поверхности

### **Проведение измерений**

Краткое описание методики определения толщины пленки:

“Метод ступеньки” заключается в получении изображения на границе нанесения пленки и последующем измерении разницы высот подложки и пленки.

Измерения проводились на зондовом микроскопе Ntegra Spectra, для обработки изображений использовалась программа Gwyddion.

### **Заключение**

Данный обзор - лишь начало исследований в данном направлении, и затронул только пять наиболее распространенных методов измерения толщин тонких пленок.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои достоинства. Эллипсометрия хороша при работе с простыми веществами, но для сложных – практически не пригодна. Для рентгеноструктурного анализа применяется относительно дешевое оборудование, но при измерениях придется столкнуться со сложной обработкой результатов. РОР и РЭМ чрезвычайно точны, но для РОР необходим хорошо подготовленный персонал, а у РЭМ возникает проблема с затеканием заряда.

На фоне остальных методов стоит выделить АСМ. Этот метод имеет высокую точность измерения, прост и удобен в обработке результатов, а размеры образца ограничены лишь конструкцией микроскопа.

В дальнейшем планируется более глубокое исследование рассмотренных методов и сравнение экспериментальных результатов.

**УДК 621.373.826**

## **ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С КАРБИДАМИ ВОЛЬФРАМА ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ**

Михаил Валентинович Лукьянов,  
*студент 6 курса,*  
*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,*  
*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.С. Третьяков,*  
*кандидат технических наук, ассистент кафедры «Лазерные технологии в*  
*машиностроении»*

Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, а повышение износостойкости деталей является актуальной задачей для многих отраслей промышленности. Перспективным вариантом решения этой задачи является нанесение на детали, подверженные интенсивному износу, композиционных покрытий.

Композиционные материалы имеют высокие показатели удельной и усталостной прочности, обладают повышенной износостойкостью, обеспечивают размерную стабильность конструкции. В настоящий момент актуально создание и внедрение инновационных конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами. Среди конструкционных материалов получают широкое распространение карбидостали – композиционные материалы, состоящие из легированной стали и карбидов с массовой долей от 20 до 70%. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между сталями и твердыми сплавами [1]. Использование карбида вольфрама в качестве упрочняющей фазы в стальной матрице позволяет повысить твердость, прочность и износостойкость.

Получение композиционного материала возможно либо расплавлением матрицы и добавлением упрочняющих частиц, либо переплавкой всех компонентов с последующим выделением требуемых структур. В первом случае необходимо расплавить лишь матрицу, сохранив в карбиде исходную структуру. Во втором случае необходимо расплавить весь материал без значительного испарения, и уже из общей жидкой ванны получить выделившиеся при кристаллизации упрочняющие фазы. Если это осуществляется с помощью неконцентрированных источников энергии, высокие погонные мощности процесса ведут к значительному разогреву подложки и её деформации. Концентрированные источники позволяют нагреть подложку и

наплавляемый материал точно, с минимальным вводом теплоты. К концентрированным источникам теплоты относят электронно-лучевые и лазерные источники.

Лазерная наплавка заключается в послойном локальном расплавлении порошков и их сплавлении с поверхностью обрабатываемого металла, в связи с этим, погонные мощности процесса ниже, чем при применении дуговых и плазменных методов, соответственно, тепловое воздействие на подложку минимально [2]. Благодаря локальности воздействия и гибкости регулирования параметров процесса получение композитного покрытия методом лазерной наплавки позволяет наносить большое разнообразие наплавляемых материалов и их комбинаций.

Рассмотрены результаты экспериментов по наплавке на опытные образцы и на рабочие детали. В качестве присадочного материала использовались металлические порошки на никелевой основе. В качестве упрочняющей фазы использовались два вида карбидов вольфрама: колотые и агломерированные карбиды.

Процесс лазерной наплавки проводился на роботизированном лазерном комплексе с использованием волоконного лазера. В результате проведенных исследований выявлены наиболее оптимальные характеристики процесса: композиционный состав наносимого покрытия, объемное и массовое соотношение компонентов, а также режим его нанесения.

В настоящей работе указывается на перспективность использования лазерной наплавки для получения композиционных материалов.

### Литература

1. *Новиченко Д.Ю.* Разработка и исследование процесса прямого лазерного изготовления детали из композиционного материала на основе стали и карбида титана: авто-реф. дис. ... канд. тех. наук / Д.Ю.Новиченко ; Моск. гос. тех. ун-т. им. Н.Э. Баумана – М., 2011. – 18 с.
2. Deposition of graded metal matrix composites by laser beam cladding. C. Theiler, T. Seefeld, G. Sepold/ Bias Bremen Institute of Applied Beam Technology, Germany

**УДК 621.375.826**

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВРКИ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Хтет Аунг Лин,  
аспирант 2 года,  
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»

В настоящее время в промышленности находит все более широкое применение лазерная сварка. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева обеспечивает высокую производительность и качество изделий.

Дальнейшее развитие лазерная сварка нашла в совмещении тепловых источников. Такие способы получили названия гибридных.

Несмотря на большое количество работ, посвященных гибридной сварки остаются невыясненными вопросам рациональной области применения этого способа.

Целью работы явилось повышение эффективности лазерного воздействия за счет совмещения источников тепла и установление его технологических особенностей при сварке закаливаемых сталей.

В данной работе исследовали влияние параметров гибридной лазерной сварки на эффективность лазерного воздействия. Для этого проводили расчет для сварки закаливаемых сталей с толщиной 1 и 10 мм. Скорость сварки варьировали в диапазоне 1 и 4 см/с. Диаметры дополнительного источника составляли 0,1 0,5 и 1 см. Мощность дополнительного источника тепла изменяли в диапазоне 4-8 кВт, а его положение относительно центра лазерного луча в диапазоне -1 до +1 см. Знак минус означает, что дополнительный источник тепла находится перед лазерным лучом и плюс означает наоборот. Расчеты проводили по модели, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с Санкт-Петербургским государственным техническим университетом. Соблюдали условие полного провара пластины.

Расчетная оценка показала, что наибольшая эффективность лазерного воздействия при сварке сталей различных толщин достигается при определенном соотношении скорости, диаметра пятна дополнительного нагрева, расстояния между источниками, а также их взаимного положения. Полученные данные могут служить руководством для выбора оптимальных режимов.

В условиях неравновесного термического цикла сварки металл сварного соединения претерпевает полную или частичную закалку, образуются преимущественно закалочные структуры, отличающиеся высокой вероятностью появления хрупких разрушений в шве или зоне термического влияния.

Для оценки вероятности появления закалочных структур в сварном шве производили расчет времени и скорости охлаждения в интервале температур 800-500<sup>0</sup>С.

Анализ полученных результатов показал, что гибридную сварку закаливаемых сталей нецелесообразно проводить на режимах при которых достигается максимальная эффективность лазерного воздействия.

Экспериментально показано, что использование гибридной лазерной сварки на рекомендованных режимах для закаливаемых сталей позволяет по сравнению с лазерной получить более пластичные структурные составляющие в сварном шве.

### **Секция XIII**

#### **Реновационные технологии**

Председатель:

**Ступников Владимир Петрович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Технологии обработки материалов» (МТ-13)

Ученый секретарь:

**Козлов Анатолий Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии  
обработки материалов» (МТ-13)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ МАШИНЫ ТРЕНИЯ УТСМ-01 WAGNER

Артём Валерьевич Валяйчиков <sup>(1)</sup>,  
студент 4 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»

Повышение точности расчетов при проектировании современных машин или технологических процессов требует обоснованного учета характеристик трибопары, в значительной степени определяющихся используемыми смазочными средами.

Для исследования триботехнических характеристик конструкционных и смазочных материалов используются машины трения.

Установка УТСМ-01 предназначена для экспресс-тестирования смазочных материалов, например, масел для двигателей внутреннего сгорания, масел для гидравлических систем, редукторов, по схеме трибосопряжения «кольцо-ролик». Где в качестве испытуемого образца используется ролик подшипника качения, а кольцо подшипника является контр-образцом.

Одной из основных проблем данной установки является не возможность точного регулирования нагрузки, так как касание образца к кольцу подшипника осуществляется вручную за счет нагружения динамометрического рычага. Данный метод не обеспечивает требуемой точности проводимых испытаний. Вследствие этого регулировка будет осуществляться за счет усилия, создаваемого системой грузов и рычагов. Будет обеспечено плавное и ступенчатое регулирование усилия, что обеспечит повышение точности проводимых исследований.

Температура масел в смазочной ванночке будет осуществляться за счет термодатчиков стационарно.

Так же в данной машине будет осуществлена возможность прямого определения коэффициента трения и величины износа образца.

Управление основными параметрами машины будет осуществляться с помощью программного управления.

### Литература

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин). -М.: Издательство МСХА, 2002. 632 с.
2. Чичинадзе А.В, Браун Э.Д. Основы трибологии. - М.: Машиностроение, 2001.-664 с.
3. Куксенова Л.И., Лаптева В.Г. Методы испытаний на трение и износ. -М: Интермет Инжиниринг, 2001. — 152 с

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА С ЧПУ 16K20Ф3

Иван Андреевич Никифоров,

*студент 5 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»,*

Важнейшим сектором в развитии экономики России является машиностроение. В настоящее время, в период перехода на новый политический курс, Россия отстала от ведущих мировых держав. Так, например, по словам гендиректора Госкорпорации «Ростехнологии» и руководителя «Союза машиностроителей России» Сергея Чемезова, износ основных фондов на предприятиях и в организациях большинства отраслей отечественной промышленности на сегодня превысил 60% [1]. Для развития машиностроения в России как и в других странах сдерживающим фактором является финансирование переоборудования станочного парка. Так, например, средняя отпускная цена российских компаний на некоторые категории станков, по данным Федеральной службы государственной статистики, за 2006-2008 годы выросла не менее чем в 1,49 раза. Не отстают от своих российских коллег и зарубежные производители [1].

Решением проблемы финансирования является модернизация станочного парка оборудования, выпущенного еще в дореформенный период и не успевшего выработать свой ресурс. Эта тенденция характерна не только для России, но и для развитых зарубежных стран, таких как Германия, США, Швеция [2].

Станки, длительное время находившиеся в эксплуатации и в результате этого морально и/или физически устаревшие, сохраняют свою ценность для предприятия, так как являются оборудованием проверенным и привычным и позволяют продолжать производство, не изменяя технологий [2]. В сравнении с заменой станков на новые, модернизация требует значительно меньше времени и обходится компании примерно на 30-40% дешевле. К тому же у руководства не возникает необходимости в организации кардинальной переподготовки операторов для работы на новом оборудовании [1].

Сегодня в России существует множество фирм и предприятий, предлагающих услуги по ремонту и модернизации различного технологического оборудования. Самая распространенная технология ремонта металлорежущих станков заключается в замене электрических приводов, систем управления, элементов электропроводки, коммутаций и установки современной системы ЧПУ [3].

Советские станки с ЧПУ используемые на предприятиях в данный момент морально и физически устарели. Восстановление оригинальной системы ЧПУ не имеет смысла, по причине появления более производительных и надежных промышленных компьютеров, новых систем ЧПУ.

При техническом перевооружении предприятий, покупка современных станков является ответственным мероприятием, требующим детальной проработки технологического процесса. Нецелесообразно использовать дорогостоящие, точные станки для черновой обработки, т.к. из-за высоких вибраций, неравномерности припусков и окалин на заготовках станок может быстро потерять точностные

характеристики. Для черновых операций оптимально использовать восстановленные, модернизированные станки, т.к. стоимость такого оборудования значительно меньше, а наличие коробки скоростей позволяет развивать большие крутящие моменты в отличие от мотор-шпинделей применяемых на современных станках. Высокий крутящий момент обеспечивает отличную производительность при черновых операциях, позволяя эффективно удалять припуск.

Продукция отечественного станкостроения, оборудованная ЧПУ, произведённая в восьмидесятые годы, по сравнению с современными станками Китайского и Тайваньского производства, обладает значительно большими жесткостью и запасом прочности механических частей. Чугунная станина, старея, стабилизируется, внутренние напряжения и деформации кристаллических структур исчезают. Однако системы ЧПУ, установленные на этих станках, сильно устарели. Проведя модернизацию станка, установив новые системы автоматики, устройства ввода-вывода, новые электроприводы, запоминающие устройства и контроллеры, можно гарантированно получить весомый эффект.

В данной работе представлен полный технологический процесс модернизации токарно-винторезного станка с ЧПУ 16К20Ф3 и его практическая реализация. Основные этапы модернизации:

- Анализ исходного состояния станка, для выявления основных дефектов и составления первичного плана модернизации. Проверяются станина, направляющие, коробка скоростей, система подачи масла, система охлаждения, патрон, револьверная головка и т.д.
- Конструирование необходимых деталей и покупка новых компонентов. Замена электродвигателей постоянного тока на асинхронные электродвигатели переменного тока, винтового патрона на клиноременный, старой системы ЧПУ на современную отечественную FlexNC. Конструирование переходных фланцев для электродвигателей, стойки управления ЧПУ.
- Разборка и очистка станка. Демонтируются лишние детали и детали подлежащие замене (монитор, электрический шкаф с ЧПУ, электропроводка, электродвигатели, датчики, патрон и т.д.). Станок очищается, с него снимается старая краска и наносится новая.
- Изготовление сконструированных деталей (стойки управления ЧПУ, переходных фланцев, корпусных деталей).
- Сборка и наладка станка. Устанавливаются новые электродвигатели, патрон, стойка управления ЧПУ, монтируется электропроводка, система ЧПУ и т.д.

## 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](http://www.znk.by/arhiv/01_02_2011/bosz.html)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ СУППОРТА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА ПОД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТНУЮ ЗАКАЛКУ ДЕТАЛЕЙ

Алексей Владимирович Русак,  
студент 5 курса,  
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»

При электромеханической обработке[1] деталей на токарно-винторезном станке необходимо постоянно и равномерно поддерживать заданную скорость передвижения инструментального ролика, без вращения шпинделя. На основе этого возникла потребность в модернизации универсального станка 1К62 за счет независимого привода перемещения верхней части суппорта станка 1К62.

Привод предназначен для перемещения инструмента с оптимальной скоростью, при неподвижном положении заготовки или детали. С помощью данного привода можно обработать сложные поверхности деталей, такие как: зубчатые колеса, звёздочки, конические поверхности, плоские поверхности.

Составными частями привода являются (рис. 1.) асинхронный электродвигатель со встроенным редуктором - 1, плоскоременная передача - 2, плита - 3 и верхний суппорт токарно-винторезного станка 1К62 - 4.

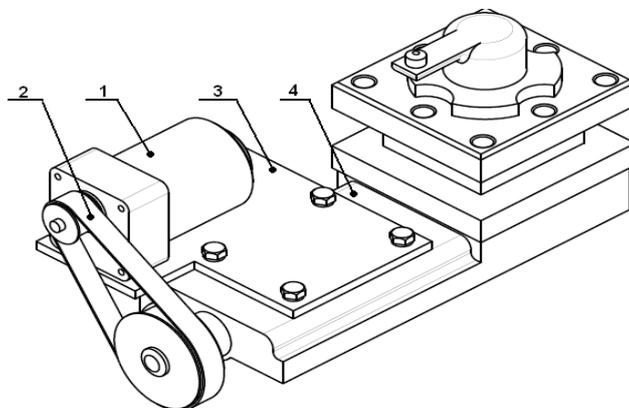


Рис. 1. Модернизированный привод верхнего суппорта станка 1К62.

Работа направлена на автоматизацию независимой работы верхней части суппорта для обработки неподвижных поверхностей заготовок и деталей при изготовлении в условиях машиностроительных предприятий и реновации изделий в организациях не машиностроительной направленности РФ.

### Литература

1. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. РИТМ – 2012 – №2 (70), с. 14-16.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ «ЭФФЕКТА Л.А. ЮТКИНА» В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Надежда Сергеевна Медвинская, Роман Александрович Матюхов,  
студенты 4 курса,  
кафедра «Автоматизированные станочные системы и инструменты»,  
Университет машиностроения

Научные руководители:

- 1). А.А. Бекаев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные системы и инструменты», Университет машиностроения
- 2). Т.В. Мусакова, учитель физики, МБОУ «Ликино-Дулевская гимназия»

Молния – типичный импульсный разряд в газе (воздухе), который сегодня хорошо изучен, и его легко можно получить в лабораторных условиях. Однако той же молнии, но возникающей в жидкости, до настоящего времени не уделялось должного внимания, хотя такие исследования проводились и проводятся [1, 4, 5 и др.].

Впервые это сделал советский ученый Лев Александрович Юткин (05.08.1911-05.10.1980), который сформулировал новый способ трансформации электроэнергии в механическую, посредством жидкости, назвав его электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ).

Сущность этого эффекта состоит в том [7], что при движении электроразряда высокого напряжения через жидкость в открытом или закрытом сосуде некоторый объем этой жидкости, находящийся в межэлектродном пространстве, мгновенно вскипает, в результате чего в сосуде образуется газожидкостная смесь. При расширении образовавшегося газа (объем которого превышает изначальный объем жидкости) возникают высокие и сверхвысокие избыточные гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу. То есть, если в закрытом сосуде установлен подвижный поршень (рис. 1, а), то можно получить его практически мгновенное перемещение – рабочий ход (рис. 1, б), а после прекращения действия избыточного давления происходит конденсация (релаксация) ранее образовавшихся паров жидкости, и поршень совершит обратный ход (рис. 1, в).

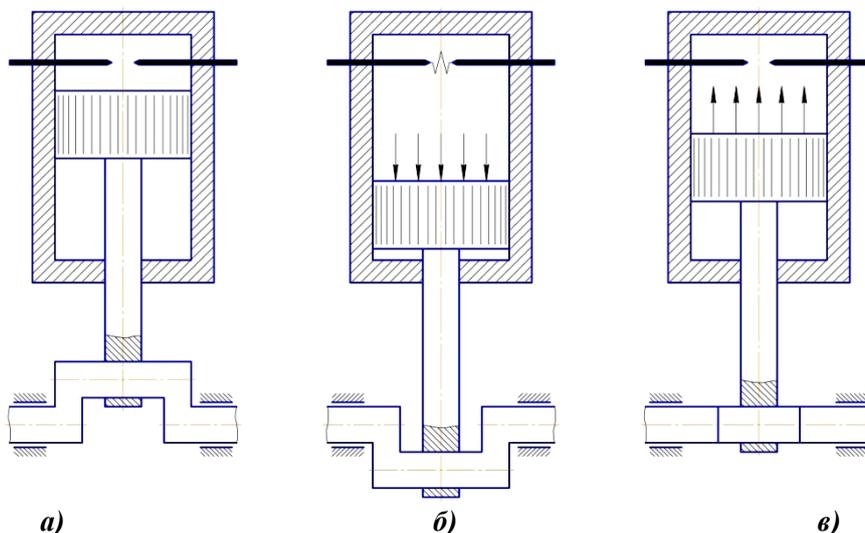


Рис. 1. Принципиальная схема реализации ЭГЭ в поршневом электрогидродвигателе.

Это открытие стало базой для создания множества технологических процессов, которые в настоящее время широко применяются во многих отраслях промышленности всего мира – машиностроительной, металлургической, горно-геологоразведочной, нефтяной и др. Однако наиболее актуальными, на взгляд авторов настоящей работы, являются методы использования ЭГЭ в стремительно развивающихся автомобильной и строительной отраслях.

В соответствии с этим, авторами были разработаны и экспериментально апробированы новейшие конструкции электрогидравлического топливного насоса высокого давления (ЭГ-насос) и электрогидравлического отбойного молотка (ЭГ-перфоратор), которые (по своим рабочим характеристикам) являются технически более совершенными, чем любые существующие их аналоги.

Так, применение ЭГ-насоса в двигателях внутреннего сгорания позволит полностью отказаться от использования какого-либо механизированного привода, являющегося неотъемлемой частью современных топливных насосов, а значит, существенно упростить конструкцию и принцип работы топливной системы, уменьшить ее металлоемкость, стоимость и уровень создаваемого шума [6].

Использование же ЭГ-перфоратора позволит: автоматически регулировать силу и частоту ударов; снизить повышенную шумность, свойственную пневмо- и бензоотбойникам; не создавать угрозу экологической обстановке [2, 3].

### Литература

1. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Искровой разряд. – М.: МФТИ, 1997. – 320 с.
2. *Бекаев А.А.* Использование электрогидравлического эффекта в дорожно-строительных машинах // *Строительные и дорожные машины.* – 2011, №3. – с. 30-32.
3. *Бекаев А.А., Медвинская Н.С., Матюхов Р.А.* Реализация «эффекта Юткина» в ЭГЭ-перфораторе // *Материалы Юбилейной XXV Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС-2013).* – М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, ноябрь 13-15, 2013. – с. 84
4. *Драбкина С.И.* О канале искрового разряда // *ЖЭТФ.* – 1951, Т. 21. – с. 473-483.
5. *Зингерман А.С.* Теория и механизм пробоя газа // *Успехи физических наук.* – 1941, Т. 25. – с. 254-286.
6. *Максимов Ю.В., Соковиков В.К., Бекаев А.А., Строков П.И.* Топливный насос нового поколения // *Известия МГТУ «МАМИ».* – 2012, №2(14). Т. 2. – с. 241-245.
7. *Юткин Л.А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, ленингр. отд., 1986. – 253 с. ил.

**УДК 621.9**

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТАНКА 16К20Ф3 (часть 2).**

Валерий Валерьевич Шпак

*Студент 6 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»*

Токарно-винторезные станки с числовым программным управлением модели 16К20Ф3 получили широкое распространение по всей России и другим странам СНГ. Спустя десятилетия после разработки конструкции таких станков появилось немало более совершенных технологий, связанных с их работой. Поэтому их модернизация должна найти широкое применение.

Охлаждение зоны резания металлорежущего станка оказывает существенное влияние на процесс формообразования. Причём метод охлаждения, эффективный в одном случае, может оказаться вовсе непригодным в иных условиях. Поэтому система охлаждения, которая позволяет применять поочерёдно различные способы охлаждения зоны резания или композицию из них, позволяет повысить эффективность работы металлорежущего станка.

Опыты показали, что охлаждение зоны резания ионизированным воздухом (ОИВ) в определённых условиях положительно влияет на стойкость инструмента, точность обработки и производительность<sup>(1)</sup>. В электровакуумной промышленности смазывающе-охлаждающие жидкости зачастую вовсе не применяются. Поэтому оснащение станка 16К20Ф3 устройством охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ) мы считаем неотъемлемой частью модернизации системы охлаждения.

Рассмотрим систему подачи охлаждающей жидкости (рис. 1). Жидкость подаётся из бака охлаждения 1 с помощью насоса подачи СОЖ 2 по медной трубке в канал револьверной головки (рис. 2), откуда она отправляется в распределительное устройство, а затем на клапан подачи СОЖ, после чего через сопловую насадку резцедержателя 3 жидкость поступает в зону резания.



Рис. 1. Схема пневматической системы охлаждения станка 16К20Ф3.

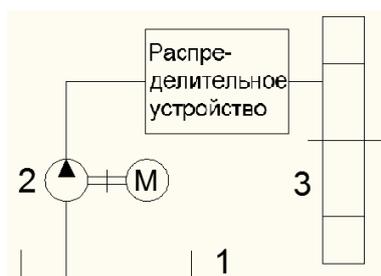


Рис. 2. Револьверная головка УГ9321.

В ходе модернизации системы охлаждения зоны резания, нам нужно решить следующие задачи:

- 1) Разработка и изготовление крепления для установки УОИВ на револьверную головку.
- 2) Определение оптимальных параметров канала, соединяющего ионизатор и зону резания.
- 3) Обеспечение рационального подвода воздуха и электричества к УОИВ.
- 4) Монтаж всех необходимых компонентов и проверка работоспособности.

Станок будет оснащён последней модификацией УОИВ с более интересным дизайном, практичной и эргономичной формой (рис. 3).



Рис. 3. УОИВ канал.



Рис. 4. Кронштейн.



Рис. 5. Суставчатый канал.

Кронштейн для установки УОИВ (рис. 4) изготавливается из стального листа толщиной в 1 миллиметр. Суставчатый канал (рис. 5) является готовым изделием. Для подвода воздуха и электричества к ионизатору мы будем использовать гофрированную трубу.

Таким образом, мы имеем всё необходимое для оснащения станка 16К20Ф3 системой охлаждения зоны резания ионизированным охлажденным воздухом, что позволит нам повысить его эффективность и универсальность.

#### Литература

1. Возможности и перспективы применения газообразного охлаждения при обработке резанием, *А.С. Татаринев, В.Д. Петрова* / ISSN 0236-3941. Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1995. №4.