

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
Студенческое научно-техническое общество имени Н.Е. Жуковского  
Научно-учебный комплекс «Машиностроительные технологии»  
Кафедра «Технологии обработки давлением»  
ООО «КванторФорм»



Всероссийская научно-техническая конференция студентов  
«Студенческая научная весна 2012:  
Машиностроительные технологии»

МГТУ им. Н.Э.Баумана, 4 - 7 апреля 2012г.

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**



Москва, 2012

Министерство по образованию и науке РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
Студенческое научно-техническое общество имени Н.Е.Жуковского  
Научно-учебный комплекс  
«Машиностроительные технологии»  
Кафедра «Технологии обработки давлением»  
ООО «КванторФорм»

## Сборник тезисов

Всероссийской научно-технической конференции студентов  
Студенческая научная весна 2012:  
«Машиностроительные технологии»  
4 – 7 апреля 2012 г.

Москва — 2012

УДК 621  
ББК 34.5  
С23

С 23 Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии» 4-7 апреля 2012 г.. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 268 с.

В сборник вошли тезисы докладов, представленных на Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии», которая проходит в рамках общеуниверситетской конференции «Студенческая научная весна-2012».

Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов и преподавателей ВУЗов

Издание осуществлено с оригиналов авторов.

## **ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!**

Вы держите в руках сборник, в который вошли работы участников Всероссийской научно – технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии».

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

Задачи конференции: накопление опыта студентами по разработке и предоставлению законченных проектов; формирование мотивации к изучению предметов специальности; информирование и обучение студентов; формирование интереса к специальности и профориентации абитуриентов; интегрирование студентов в сообщество инженеров; подтверждение уровня знаний дипломами и победами в конкурсах, что может быть использовано студентами в дальнейшем при устройстве на работу и для продолжения обучения.

Факультет «Машиностроительные технологии» один из самых старейших в МГТУ им. Н. Э. Баумана, сейчас ему более 140 лет. Он был создан в 1868 году, когда Императорское московское техническое училище получило статус высшего специального заведения и приступило к подготовке инженерах на отделениях: «Инженерно - механическом» и «Инженерно - технологическом».

Острая необходимость в таких инженерах – универсалах для России была обусловлена выдающимися фундаментальными научными открытиями и техническими изобретениями того времени, которые в истории техники названы промышленным переворотом. Его важным результатом стало возникновение отрасли машиностроения, выпускающей машины для других фабрик и заводов. Так началась подготовка квалифицированных инженеров, способных создавать технологические процессы обработки материалов, конструировать и создавать машины для промышленности.

Сегодня факультет готовит инженеров широкого профиля с фундаментальным университетским образованием и специальной профилирующей подготовкой на 13 кафедрах по металлорежущим станкам и оборудованию; инструментальной технике и технологии; технологии машиностроения; метрологии и взаимозаменяемости; литейным технологиям; технологии обработки давлением; технологии сварки и диагностики; материаловедению; промышленному дизайну; оборудованию и технологии прокатки; электронным технологиям в машиностроении; лазерным технологиям в машиностроении; технологии обработки материалов.

Основатели научных школ факультета – проф. И. М. Беспрозванный, проф. А. П. Гавриленко, проф. Г. М. Головин, проф. А. И. Зимин, проф. В. М. Кован, акад. Г. А. Николаев, проф. Н. Н. Рубцов, проф. М. А. Саверин, проф. И. И. Сидорин, проф. К. К. Хренов, акад. А. И. Целиков.

В настоящее время двенадцать профилирующих кафедр факультета готовят инженеров, бакалавров и магистров. На кафедрах факультета работают 268 преподавателей, которые обучают 2000 студентов, более 100 аспирантов, около 100 зарубежных студентов из 12 стран. Студенты проходят стажировку во Франции, Канаде, Германии, Японии.

На факультете работают более двадцати лауреатов Государственных премий и премий Правительства РФ. Учебный процесс ведут 54 профессора, доктора технических наук, 191 доцент, кандидаты наук, 23 старших преподавателя и 17 ассистентов. Среди преподавательского состава 13 действительных членов и членов корреспондентов отраслевых академий. Кафедры факультета являются ведущими в России, активно сотрудничают с университетами Германии, Франции, Великобритании, США, Канады, Китая, Японии. Исследования, проводимые учеными факультета, отражают мировые тенденции развития промышленного общества.

Всероссийская научно – техническая конференция студентов позволит дать общую оценку уровня профессиональной и научной подготовки студенчества из технических вузов России и других стран и расширить их кругозор по многим направлениям науки. Желаем успеха всем участникам конференции и ждем Вас в следующем году.

**Секция №1**  
**Металлорежущие станки и оборудование**

**УДК 681.586**

## **ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ «КНС» И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТАНКОСТРОЕНИИ**

Любовь Викторовна Кабакова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.В. Никулин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В статье рассмотрены тензорезисторные преобразователи, применяемые для измерений малых перемещений в станкостроении. Изложены проблемы измерения нано-смещений с помощью обычных тензорезисторных проволочных датчиков.

При создании станков, работающих в современных, точных условиях со значительными режимами резания, приходится создавать мостовые схемы, с помощью которых иногда удается получить требуемую точность деталей.

Однако, в большинстве тензорезисторных преобразователей сложно, а практически и невозможно, получить требуемую точность, так как наряду со сложной схемой измерения требуется высококачественный усилитель, который имеет большие нелинейные искажения (при высоком коэффициенте усиления).

В настоящее время появились тензорезисторные преобразователи, построенные на структуре «кремний на сапфире», которые получили довольно широкое распространение за рубежом при создании новых высокоточных станков. Объем производства таких станков непрерывно растет.

В статье рассмотрены возможности датчиков, применяемых в станках, и созданных на основе пленки кремния с монокристаллической сапфировой подложкой с определенной кристаллографической ориентацией. Такие датчики позволяют получать тензорезисторные мостовые схемы и создавать на их основе простые, но высокоэффективные устройства для определения малых перемещений.

Представлена экспериментальная часть трудоемкой работы по изучению и применению тензорезисторных преобразователей на основе КНС (кремний на сапфире) в современном машиностроении. При построении экспериментального стенда была предложена мостовая схема с питанием от источника постоянного тока. Однако добиться равенства сопротивлений в плечах моста оказалось чрезвычайно сложной задачей, поскольку высокочувствительные тензорезисторы на основе КНС находятся в вакууме, что затрудняет возможность измерения и изменения их сопротивлений.

Предлагается разработанная авторами экспериментальная установка, содержащая мостовую схему на основе КНС, тензометрический малогабаритный усилитель и цифровой вольтметр В7-27/А1, которая показывает (при заданном значении чувствительности схемы-до 5В/10мкм) определенные значения деформации в цифровом виде.

Данная установка позволяет исследовать чувствительность тензорезисторных мостовых схем, выращенных на основе структуры КНС, определить диапазон малых перемещений в станках, исследовать избирательность данных схем и т.д.

Изучение подобного рода измерительных схем позволило выявить массу достоинств и преимуществ мостового принципа построения, определить возможные места установки тензодатчиков на структуре КНС в высокоточных станках, и возможности внедрения схем в станкостроительную промышленность.

В статье раскрываются все существующие особенности, преимущества и недостатки тензорезисторных преобразователей, созданных на основе структуры КНС.

### Литература

1. Никулин Ю.В. Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления / Материалы XVI Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов под редакцией профессора В.Н.Азарова. - М.:МГИЭМ, 2004.-355с.

2. Дайчик М.Л., Ригоровский М.И., Хуриудов Г.Х. Методы и средства натурной тензометрии.- М.: Машиностроение,1989. - 240с.

**УДК 621.941**

## **НАРЕЗАНИЕ ХОДОВЫХ ВИНТОВ НА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРЕССИВНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Илья Валерьевич Шемякин

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Л.И. Вереина,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Актуальными задачами технологии машиностроения является повышение производительности обработки при сохранении требуемой точности размеров и качества обработанной поверхности.

Режущий инструмент и станок являются теми средствами, без которых невозможно полностью достичь высоких производительности и точности обработки.

Применение новых инструментальных материалов и конструкций резцов позволяет, реализуя более высокие скорости резания, снизить износ резцов и увеличить период стойкости при обработке материалов, особенно труднообрабатываемых.

Однако, одной из причин трудности внедрения прогрессивных режущих инструментов является то, что выпускаемые ранее модели токарно-винторезных



станков (16К20, 1М620 и др.) были разработаны без учета возможностей работы резцов с высокими скоростями и большой глубиной резания: на токарно-винторезных станках нельзя было осуществить частоту вращения более  $3000 \text{ мин}^{-1}$  и эффективную мощность резания более 10 кВт, а специализированные токарно-винторезные станки, например мод. 1622, предназначенные для нарезания резьбы на ходовых винтах длиной от 2500 до 5000 мм, имели максимальную частоту вращения заготовки  $80 \text{ мин}^{-1}$  и мощность электродвигателя 4 кВт.

Задачей является определить область применения универсальных и специализированных токарно-винторезных станков для изготовления ходовых винтов с использованием прогрессивных инструментальных материалов.

В металлорежущих станках с ручным управлением отечественного производства применяются в основном ходовые винты с трапецеидальной резьбой диаметрами от 20 до 120 мм. При выполнении чистовой токарной обработки наружных поверхностей ходовых винтов предпочтительно выполнять лезвийную обработку [1, 7], так как она практически исключает термические повреждения обработанной поверхности (прижоги), которые получаются при абразивной обработке.

Определим, какую частоту вращения должен сообщать главный привод при чистовой токарной обработке наружных поверхностей заготовки ходового винта, зная, что частота вращения  $n$  связана со скоростью резания  $v$  следующей зависимостью

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d_{\text{заг}}}$$

Для диаметра ходового винта 20 мм при чистовой обработке наружной поверхности минералокерамическими резцами рекомендуется [4] скорость резания  $v = 488 \text{ м/мин}$ .

Подставив в формулу скорость резания  $v = 488 \text{ м/мин}$ , а вместо  $d_{\text{заг}}$  (диаметра заготовки) диаметр ходового винта, равный 20 мм, получим:

$$n = \frac{1000 \cdot 488}{\pi \cdot 20} = 7770 \text{ мин}^{-1}$$

Аналогичными расчетами установлено, что чистовую токарную обработку наружных поверхностей с использованием прогрессивных инструментальных материалов можно выполнять только для диаметров ходовых винтов 60...120 мм, которые, следует отметить, применяются крайне редко.

При обтачивании наружной поверхности на отечественных универсальных токарно-винторезных станках (см. технические характеристики моделей 16К20, 1600, 16Т03А и др.) а также и на токарных станках с ЧПУ (модели 16С05АФ1, 16Б16Ф3 и др.) главный привод не обеспечивает такой частоты вращения шпинделя.

Второй момент, который необходимо выяснить, сколько потребуется мощности при черновой обработке наружной поверхности, если использовать рассмотренные выше прогрессивные инструментальные материалы.

Сила резания  $P_z$  определяется по формуле [9, 10]:

$$P_z = C_p \cdot t^{X_p} \cdot S_o^{Y_p} \cdot K_M$$

Рассчитаем силу резания  $P_z$  при черновой обработке [1,3] наружной поверхности с глубиной резания  $t=2$  мм, продольной подачей  $S_o=0,16$  мм/об и коэффициентами  $X_p=1$ ,  $Y_p=1$  и  $K_M=1,3$ , зависящими от обрабатываемого материала заготовки и этапа обработки.

Подставив в эту зависимость  $C_p = 1950$ ,  $t^{X_p} = 2^1$ ,  $S_o^{Y_p} = 0,16^{0,81}$  и  $K_M = 1,3$ , получим  $P_z = 1149$  Н.

Зная  $P_z$ , можно определить эффективную мощность резания [6]:

$$N_{эф} = \frac{1149 \cdot 434}{60000} = 8,3 \text{ кВт.}$$

Отсюда следует, что электродвигатель должен иметь мощность (без учета коэффициента безопасности):

$$N_{эд} = \frac{N_{эф}}{\eta} = \frac{8,3}{0,8} = 10,4 \text{ кВт.}$$

Проведенные расчеты показывают, что на существующих моделях универсальных токарно-винторезных станков нельзя эффективно использовать новые прогрессивные инструментальные материалы.

#### **Вывод:**

Для эффективного применения существующих современных прогрессивных инструментальных материалов и повышения производительности обработки наружных поверхностей ходовых винтов необходимо серьезно модернизировать главный привод универсальных токарно-винторезных станков, повысив мощность главного привода и увеличив частоту вращения шпинделя. Для этого необходимо устранить шестеренные коробки скоростей и использовать в главном приводе современные электродвигатели большей мощности с бесступенчатым регулированием и высокой частотой вращения его вала, например, Siemens ILE.

#### **Литература**

1. *Бабушкин А.З.* Технология изготовления металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учеб. пособие для учащихся машиностроительных техникумов / А. З. Бабушкин, В. Ю. Новиков, А. Г. Схиртладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 272 с. ил.
2. *Багдасарова Т. А.* Токарь-универсал: учеб. пособие для нач. проф. образования / Т. А. Багдасарова. — М.: Изд. центр «Академия», 2004. — 288 с.
3. *Барановский Ю.В.* Режимы резания металлов: Справочник. — Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. — М.: НИИТавтопром, 1995. — 495 с.
4. *Вереина Л. И.* Справочник станочника: учебное пособие для нач. проф. образования / Л.И. Вереина, М.М. Краснов. — 2-е изд., — М. : Изд. центр «Академия», 2008. — 560 с.
5. *Верещака А.С.* Анализ проблемы использования экологически безопасного сухого резания. / Материалы XII Международного научно-технического семинара «Высокие технологии: Тенденции развития». — Ю.В. Полоскин, А.К. Кириллов и др. — Харьков, ХПИ, 2002.
6. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. А. Е. Древаля, Е.А. Скороходова. 4-е изд. перераб. и доп. -М. : Машиностроение, 2005. — 959 с.

7. Мухин А.В. Производство деталей металлорежущих станков: Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов / А.В. Мухин, О.В. Спиридонов, А.Г. Схиртладзе и др. – М. : Машиностроение, 2001. – 560 с. ил.

8. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.; Под ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

9. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. –Т.1 / 2001.– 910с

10. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. Т.2 / 2001. – 944с.

11. Справочник токаря-универсала / Д. Г. Белецкий, В. Г. Моисеев, М.Г. Шеметов; Под ред. М.Г. Шеметова.— М.: Машиностроение, 1987.— 560 с.

**УДК 658.512.02.011.56**

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ CAD/CAM СИСТЕМЕ NX (UNIGRAPHICS)**

Ашот Сергеевич Габриелян<sup>(1)</sup>, Алексей Сергеевич Баланда<sup>(2)</sup>

*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Б. Мещерякова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В статье рассмотрены этапы жизненного цикла машиностроительных изделий, связанные с автоматизированным конструированием и подготовкой управляющих программ для их изготовления на станках с ЧПУ в интегрированной CAD/CAM системе NX (Unigraphics).

Проанализированы особенности выполнения объемного моделирования машиностроительных изделий и представлены созданные геометрические модели различного уровня сложности методами твердотельного и поверхностного моделирования.

Показаны примеры модификаций моделей с историей их создания, результаты оценки свойств деталей и контроля их взаимного расположения в проектируемом узле, автоматизированной подготовки конструкторской документации.

Созданные геометрические модели деталей могут использоваться в качестве мастер-модели для проведения различных видов анализа, например, прочностного расчета конструкций методом конечных элементов, расчета температурных деформаций, а также для автоматизированной подготовки управляющих программ (УП).

На этапе автоматизированной технологической подготовки производства рассмотрены особенности создания управляющих программ для станков с ЧПУ, которые позволяют значительно сократить время разработки УП, повысить их качество, снизить вероятность ошибок.

С точки зрения преобразования информации, подготовка УП представлена как система «модель-деталь», представляющая собой совокупность технических средств и процессов по преобразованию геометрической модели детали, созданной конструктором, в материальную деталь, соответствующую техническим требованиям и другим технико-экономическим показателям.

В CAD/CAM системе NX (Unigraphics) решены основные задачи при подготовке УП на этапах: подготовки исходных данных для проектирования технологического процесса; создания маршрутной и операционной технологий, результаты которых представлены в статье. Показаны данные виртуальной отработки УП, позволяющие сократить время изготовления детали на производстве.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ТЕПЛОВЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Екатерина Михайловна Загороднюк<sup>(1)</sup>, Игорь Павлович Иванов<sup>(2)</sup>

*Студенты 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»<sup>(1)</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Обеспечение стабильного уровня надежности технологического оборудования (в данном случае – металлорежущего станка) зависит от большого количества различных факторов и процессов происходящих в станке.

Надежность станка – это его динамика качества, поскольку рассматривается изменение характеристик станка во времени. Поэтому вредные процессы, приводящие к отказам станка, следует классифицировать по скорости их протекания и рассмотреть картинку взаимодействия станка с этими процессами.

Для оценки степени изменения показателей качества станка во времени целесообразно все процессы, происходящие в станке и изменяющие его начальные параметры разбить по скорости их протекания на три группы.

1. Быстро протекающие процессы (заканчиваются в пределах цикла работы станка);
2. Процессы средней скорости (протекают за время непрерывной работы станка);
3. Медленно протекающие процессы (протекают в течении всего периода эксплуатации станка);

Для определения возможных способов компенсации тепловых деформации станка, применяется метод координатных систем и модель формирования погрешности относительного положения исполнительных механизмов станка.

Анализ указанной модели показал, что возможны два способа компенсации погрешностей станков и повышения точности их выходных параметров:

- с помощью абсолютной стабилизации положений исполнительных механизмов станка, несущих заготовку и режущий инструмент относительно заданного для них положения;
- с помощью относительной стабилизации, когда проводится изменение относительного пространственного положения одного из исполнительных механизмов станка относительно другого.

Компенсация погрешностей из-за тепловых деформаций в зависимости от способа получения информации о них может проводиться следующим образом:

- на основе использования априорной информации о температурных деформациях станка, полученной аналитическими расчетами или путем их предварительного экспериментального измерения. Недостатком данного способа является то, что в этом случае проводится коррекция только систематической составляющей этих погрешностей станка;
- на основе использования текущей информации о температуре нагрева или тепловых деформациях станка получаемой с помощью специальных измерительных преобразователей, установленных на станке. Данный способ получения информации позволяет проводить коррекцию систематической и случайной составляющих погрешностей от тепловых деформаций.

Практически компенсация тепловых деформаций станка может проводиться различными путями:

- воздействием на управляющую программу, когда производится ее предсказание на основе информации о систематических погрешностях;
- воздействием на управляющие сигналы, формируемые устройством ЧПУ и передаваемые на приводы исполнительных механизмов станка, т.е. путем коррекции управляющих сигналов;
- использованием на станке специальных корректирующих элементов или устройств, оснащенных микроприводами, которые управляются от системы ЧПУ станка.

УДК 621.9-18

## **РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ТЕПЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМНО АНАЛИЗИРОВАТЬ ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКЕ**

Светлана Валерьевна Лаврова, Константин Александрович Герасимов

*Студенты 5 курса,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ширшов,  
аспирант 1 года обучения кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время процесс проектирования конструкции не связан с точностью самого станка. Применяемые расчёты по большей части мало обоснованы. Как результат, создание конструкции станка и назначение требований к деталям и сборкам происходит в значительной степени или интуитивно, или на базе эмпирического опыта. Использование мощных пакетов конечно-элементного анализа типа Ansys по сути позволяет заменить физический эксперимент виртуальным. Станок для инженера по прежнему остаётся «чёрным ящиком», и повышение точности в таком случае остаётся интуитивным.

При расчёте точности на стадии проектирования и анализе влияния различных факторов и свойств конструкции на точность обработки крайне важен системный подход к конструкции. Необходима теория, которая представит станок как систему факторов, что позволит оценивать удельное влияние каждого фактора на точность станка и увязать процесс проектирования с обеспечением точности станка. Согласно [1], статическую точность станков определяют три основные характеристики смещений: силовая, тепловая и размерная. Для силовой составляющей точности уже существует теория силовых смещений [1], в которой конструкция станка приводится к упруго-фрикционной системе — системе упругих и неупругих свойств конструкции, значения которых определяются шероховатостью стыков, усилиями затяжки, жёсткостью деталей и т.д.

В данной работе поставлена задача разработать теорию тепловых смещений в станке. В настоящее время существует множество работ, посвящённых расчёту тепловых смещений станков на стадии их проектирования. Работы последних лет преимущественно связаны с методом конечным элементов. С одной стороны, можно достаточно точно определить тепловую точность станка, построить поле температур, распределения тепловых смещений. Однако станок для инженера по прежнему остаётся «чёрным ящиком», потому что удельное влияние отдельных факторов практически не определяется. Разрабатываемая теория должна связать отдельные факторы, влияющие на тепловые смещения, в систему. Т.к. силовые и тепловые процессы в реальной конструкции работают вместе, необходимо связать теорию силовых и тепловых смещений в единое целое.

Разработка данной теории была начата с рассмотрения модели формирования тепловых смещений, представленных на рис 1.

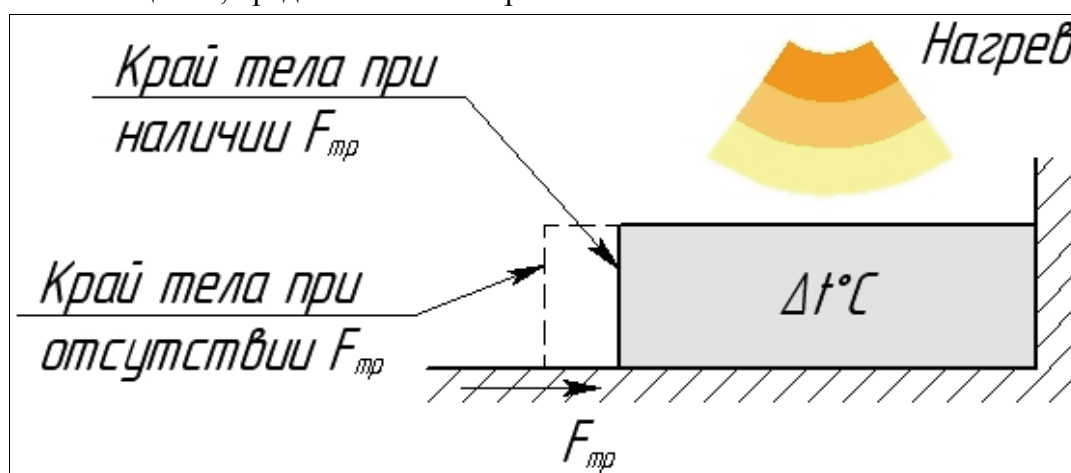


Рис. 1. Модель для анализа тепловых смещений

#### **Выводы:**

1. При наличии стыков тепловые процессы сопровождаются как тепловыми, так и силовыми смещениями.
2. Теорию тепловых явлений нельзя рассматривать без теории силовых смещений.
3. Суммарное смещение при нагреве тела складывается из суммы силовых и тепловых смещений.
4. Поведение силы трения не зависит от природы смещения тела.
5. Сила трения будет влиять на суммарное смещение при тепловом нагружении.
6. Т.к. сила трения  $F_{тр} = \Delta l \cdot k$  жёсткость конструкции влияет на суммарное смещение при тепловом нагружении.
7. Так как вибрации влияют на  $F_{тр}$ , то наличие вибрации будет влиять на характер суммарного смещения: характеристика тепловых смещений с учётом силы трения будет приближаться к характеристике без силы трения.
8. При нагреве и последующем охлаждении до начальной температуры возникают остаточные тепловые смещения, не связанные с наличием зазоров в системе.
9. С течением времени остаточные тепловые смещения могут быть сняты двумя путями охлаждением или приложением вибрации.

#### **Литература**

1. Чернянский П.М. Основы проектирования точных станков. Теория и расчёт. - М.: КНОРУС, 2010. - 240 стр.

УДК 53.084.823

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ

Михаил Юрьевич Чупов

*Аспирант 3 года,  
кафедра «Информационные системы»,  
Московский государственный технологический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: П.М. Позднеев,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы»,  
Московский государственный технологический университет имени Н.Э. Баумана*

В данной работе рассматривается один из аспектов вышеуказанной проблемы - вопрос научно обоснованного повышения точности фрезерной обработки материалов на станках с ЧПУ наиболее простым и доступным для производства способом: путем целенаправленной параметрической оптимизации режимных условий анализируемого процесса фрезерования с учетом накладываемых технико-технологических ограничений. На данном этапе производства для изготовления деталей составных частей космических аппаратов используется широкий ряд материалов, в том числе и изделия из сплавов алюминия, сплавов стали и титана. Точность изделий производимых в этих целях сопоставима с 7 классом точности. Зачастую имеет место мелкосерийное или индивидуальное производство, что обуславливает контроль всего цикла изготовления. Существует возможность изготовления изделий на токарно-фрезерном обрабатывающем центре, который способен выполнять все токарные и простые фрезерные операции (плоскости, лыски, пазы, шестигранники, и т.д). Разработка управляющих программ может происходить по протоколам Fanuc и HEIDENHAIN. Токарно-фрезерный центр может обеспечить достаточную точность изделия и практически полную повторяемость. Тем не менее, полностью исключить возможность ошибки в написании управляющей программы не представляется возможным, в связи, с чем предлагается разработать автоматизированную систему по управлению жизненным циклом изделия.

На точность изготовления изделия влияют факторы:

- Тепловой фактор при изготовлении
- Износ обрабатывающего инструмента (ресурс, время работы, хим. состав и т.д.)
- Погрешность настройки (Базирование) (На токарных станках несоосность)
- Биения-Вибрации Шпинделя (Фрезы)
- Существенное несоответствие заданным режимам обработки (например частота вращения шпинделя (фрезы) текущему режиму)
- Неточность изготовления режущего инструмента
- Неточность 3D модели (Субъективная погрешность)



- Неверный выбор СОЖ
- Электромагнитное воздействие
- Влажность
- Наличие вызывающих коррозию веществ в зоне обработки
- Свойства обрабатываемого материала (коррозионная стойкость, состав, вязкость, пластичность, твердость и т.д.)
- Солнечная радиация

Этапы технологического цикла изделия необходимые для реализации автоматизированной системы:

- Изготовление детали на станке.
- Измерение детали на Координатно-измерительной машине (Измерительная информация записывается в электронном виде в формате .ТХТ)
- Корректировка управляющей программы по изготовлению детали, с учетом измерительных данных, в автоматическом режиме, с помощью разработанного ПО и САПР "АДЕМ".

3D модель, исследуемого изделия. Рассматриваются 3 вида размеров:

- Диаметральный
- Линейный
- Угловой

В статье приведены графики зависимости количества размеров от значений, полученных на КИМ. Из полученных опытным путем данных следует, что имеет место влияние систематической составляющей.

### Литература

1. Солонин И.С. – Математическая статистика в технологии машиностроения - 1960. – 35 с.
2. Тихонов А.Н., Кальнер В.Д., Гласко В.Б. – Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. - 1990.

**УДК 621.9-18**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ УПРУГО-ФРИКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Андрей Геннадьевич Ширшов

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: П.М. Чернянский,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Задача автоматизации исследований силовых смещений является частью задачи разработки программы для автоматизации расчёта и анализа силовых смещений станков на стадии их проектирования. Данная работа ведётся на базе теории силовых смещений Чернянского П.М. [1]. Согласно этой теории, конструкция сводится к упруго-фрикционной системе (УФС), которая отражает физические свойства изучаемой конструкции. Особенность использования в расчётах смещений УФС состоит в том, что все процессы, все факторы, влияющие на величину силовых смещений вершины инструмента и, следовательно, на силовую составляющую точности станка, представлены в виде системы. В итоге можно сказать, где слабое звено, на что следует конструктору обратить внимание при проектировании станка, когда величина силовых смещений превышает заданные пределы.

Основной работой в процессе автоматизации расчётов является разработка такой математической модели расчёта силовых смещений, чтобы с одной стороны был сохранён системный подход к конструкции, факторам и процессам, и, с другой стороны, полученные алгоритмы решения легко поддавались автоматизации расчёта на компьютере.

Ранее была проведена автоматизация расчёта характеристики силовых смещений (ХСС) для одного модуля упруго-фрикционной системы (УФС). В результате была создана программа Динара для расчёта силовых смещений в УФС. Фактически это была не полноценная программа, а набор авторских модулей, разработанных средствами программы МВТУ 3.7 («Моделирование В Технических Устройствах», создана на кафедре Э7 «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, представляет собой бесплатный аналог Simulink). Расчёт смещений проводился программой МВТУ 3.7., при этом пользователь задавал структуру УФС, расставляя в окне программы блоки - модули УФС.

Позднее анализ работы программы Динара показал, что, хотя смещения одного модуля УФС программа считала правильно, смещения всей системы считались неверно. Кроме того, оказалось, что программы типа МВТУ и Simulink не подходят для расчёта смещений в УФС: необходим совершенно другой подход.

Поиск нового метода для расчёта смещений системы модулей привёл к методу конечных элементов (МКЭ). Согласно работе [2], модули УФС являются уже готовыми конечными элементами (КЭ). И МКЭ здесь оказывается методом математически точным, потому что отсутствует алгоритм разбиения среды на конечные элементы, который и вносит погрешность в расчёты (этот алгоритм носит название «Триангуляция Делоне»). Кроме того оказалось, что МКЭ позволяет решать задачи не только численно, но и аналитически, что окончательно определило выбор этого метода.

Данная работа посвящена описанию моделей и алгоритмов, которые позволяют решать с использованием МКЭ цепочки произвольной длины последовательно соединённых модулей УФС и очень ограниченное количество систем с параллельными связями модулей. При этом имеется возможность использовать практически все модули УФС. Для того, чтобы рассчитывать произвольные одномерные УФС, остаётся научиться определять силовые смещения УФС при наличии последовательного соединения элементов и соединения элементов, которое не является ни последовательным ни параллельным. После решения вышеперечисленных задач можно будет перейти к двумерным и трёхмерным УФС.

Также разработаны модели как нормально, так и тангенциально деформируемого стыка, а также деформируемых деталей с использованием МКЭ. Для полноценного расчёта силовых смещений и анализа доли влияния различных факторов на смещение конечного звена остаётся научиться рассчитывать силовые смещения в стыке, одновременно нагруженном нормальной и тангенциальной силой. Последним этапом в создании алгоритма автоматического расчёта и анализа силовой точности станков на стадии их проектирования является задача разработки программного алгоритма перехода от конструкции к системе, составленной из типовых элементов конструкции. После решения указанной задачи можно будет написать первую программу, которая может самостоятельно выделять факторы в станке, анализировать их влияние на точность обработки, считать силовую составляющую точности станка, а также находить слабое с точки зрения жёсткости звено.

### Литература

1. *Чернянский П.М.* Основы проектирования точных станков. Теория и расчёт. - М.: КНОРУС, 2010. - 240 стр.

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ШПИНДЕЛЯ ДЛЯ СТАНКОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ**

Дмитрий Сергеевич Архипов, Алексей Алексеевич Ванюшкин

*Студенты 3 курса,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Задача – разработка шпинделя для форматно-раскроечного станка.

Основные направления работы – повышение точности станка без увеличения его себестоимости.

Анализ задачи и выбор оптимальной конструкции шпинделя.

Разработка новой модели закрепления инструмента обеспечивающей требуемую надёжность работы, и уменьшающей вибрации.

Выбор схемы установки подшипников.

Рекомендации по выбору двигателя и смазочного материала.

Область применения машины – продольное пиление заготовок толщиной до 30 мм.

Оценка эффективности схемы. Результат соответствует поставленной цели.

## Литература

1. Дунаев П.Ф. , Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Академия, 2009. - 496с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Под общей редакцией А.С. Проникова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444с.
3. Металлорежущие станки и автоматы: Под редакцией А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981. – 479с.

УДК 621.7.012

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Александр Сергеевич Клецов

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

*Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,  
старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и оборудование»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Рассматривая и экспериментально проверяя методику параметрической надежности многооперационного фрезерного консольного вертикального станка с УЧПУ, в качестве выходного контролируемого параметра рассмотрим точку на режущем инструменте и абсолютное смещение фактической точки, в которой производится обработка, от идеальной, заданной технологией обработки, программой УЧПУ в результате изменения случайных аргументов.

Проанализировав совокупность точек, характеризующих абсолютное отклонение фактической траектории движения рабочих органов от идеальной, общее смещение по координате  $X$  можем задать следующим образом:

$$\delta_{\Sigma X} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta_{Xij}$$

Определив аналогичным образом общее смещение по координате  $Y$ :

$$\delta_{\Sigma Y} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta_{Yij} ,$$

можно определить абсолютное отклонение контролируемой траектории в любой ее точке:  $\delta = \delta_{\Sigma X}^2 + \delta_{\Sigma Y}^2$  и сделать вывод о пригодности станка для обработки данной детали.

При рассмотрении нагружения плоских стыков направляющих скольжения для оценки контактных перемещений использована эмпирическая зависимость  $\delta = C\sigma^m$ , где  $\delta$  - контактное перемещение в мкм,  $\sigma$  - давление в направляющих,  $C$  -

коэффициент, зависящий от геометрии поверхности и свойств материалов,  $m$  - показатель степени.

Для расчета элементарных смещений по каждой направляющей необходимо знать характер эпюры давлений между гранями направляющих. Эпюра имеет вид трапеции. В этом случае эпюра линейна, и наибольшие и наименьшие значения давлений можно определить по формулам:

$$p_{\max} = \frac{R_i}{LH} \left(1 + \sigma \frac{X_{Ri}}{L}\right); \quad p_{\min} = \frac{R_i}{LH} \left(1 - \sigma \frac{X_{Ri}}{L}\right),$$

где  $L$  и  $H$  - длина и ширина соответственно направляющих.

Деформации в шарико-винтовой паре определим по формулам Герца-Беляева, наибольшие деформации при этом возникают в контакте шарик-винт; контактные перемещения:

- в направлении действия нагрузки [см]  $\delta = c_1 P^{\frac{2}{3}}$ ;
- ----- в осевом направлении  $\delta_0 = \frac{2\delta}{\sin \alpha \cos \lambda}$
- -----  $P$  -  
 -----  $P = \frac{Q}{Z_{pac} \sin \alpha \cos \lambda}$  нормальная

нагрузка на один шарик, кг;

Анализ отдельных составляющих смещений по координатам позволяет численно оценить влияние внесения изменений в конструкцию станка. На основании практического применения методики прогнозирования параметрической надежности при помощи ЭВМ был произведен расчет для конкретного станка, позволяющий оценить точность обработки детали любой конфигурации, вероятность обработки детали с заданной точностью или любые другие интересующие параметры.

### Литература

1. Под общ. редакцией А.С. Проникова. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Справочник-учебник в трех томах - М. Издательство МГТУ / Машиностроение, 1994
2. Под ред. А.С. Проникова Металлорежущие станки и автоматы. - М.: Машиностроение, 1981
3. А.С. Проников. Надежность машин. -М.: Машиностроение, 1973
4. А.С. Проников. Программный метод испытания металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1985
5. З.М.Левина, Д.Н. Решетов. Контактная жесткость машин - М.: Машиностроение, 1971
6. И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. Расчет на прочность деталей машин - М.: Машиностроение, 1993

**Секция №2**  
**Инструментальная техника и технологии**

УДК 621.9

## УСТАНОВКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Максим Андреевич Виноградов

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

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Обрабатываемость материалов – одно из важнейших технологических свойств, характеризующее способность материала поддаваться обработке режущими инструментами. С другой стороны, можно сказать, что обрабатываемость металлов резанием отражает способность металлов ограничивать производительность их обработки, вызывать затруднения в обеспечении требуемой точности и качества обработанной поверхности, требовать для своей обработки специальных приспособлений и, вообще, вносить всякие трудности в их обработку.

Обрабатываемость - это сложное понятие, представляющее собой совокупность различных свойств. Одним из показателей обрабатываемости являются зависящие от свойств материалов коэффициенты  $C_p$ ,  $q$  и  $u$  из формулы  $P_0=10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p$  [3].

Объединим коэффициенты  $K_p$  и  $C_p$  в  $C$ , тогда  $P_0=10 \cdot C \cdot D^q \cdot S^y$ .



Рис. 1

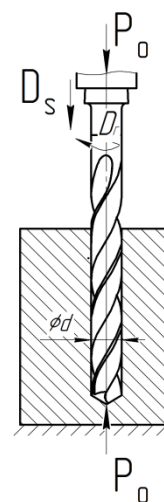


Рис. 2

Для оценки обрабатываемости можно использовать метод резания с постоянной силой резания (рис. 2). Для реализации этого метода была разработана установка П-1 (рис. 1), состоящая из стального удлинителя, который насаживается на зубчатое колесо станка с натягом и передаёт крутящий момент от шкива к сверлу, шкива диаметром 540 мм, из ДСП, который крепится на удлинитель с помощью болтов. На шкиве выполнена канавка, в которую закреплён стальной тросик с грузом. На данном приспособлении были проведены экспериментальные исследования, в которых изучалось сверление различных материалов (сталь 45, серый чугун и алюминий) свёрлами диаметром 6,9 и 8,6 мм и с разными  $P_0$  (от 13,6 до 86 Н).

Результатами исследования являлись глубина просверленного отверстия  $l$  и время сверления  $\tau$ . По этим результатам рассчитывалась подача  $S = \frac{l}{\tau \cdot n}$ .

Для определения неизвестных коэффициентов была составлена система из трёх уравнений:

$$\begin{cases} P_1 = 10 \cdot C \cdot D_1^q \cdot S_1^y \\ P_1 = 10 \cdot C \cdot D_2^q \cdot S_2^y \\ P_3 = 10 \cdot C \cdot D_1^q \cdot S_3^y \end{cases}$$

Решив систему получаем:

$$\begin{cases} y = \text{Log}_{\frac{S_1}{S_3}} \left( \frac{P_1}{P_3} \right) \\ q = \text{Log}_{\frac{S_1}{S_3}} \left( \frac{P_1}{P_3} \right) \cdot \text{Log}_{\frac{D_1}{D_2}} \left( \frac{S_2}{S_1} \right) \\ C = \frac{P_1}{\left( D_1^{\text{Log}_{\frac{D_1}{D_2}} \left( \frac{S_2}{S_1} \right)} \cdot S_1^{\text{Log}_{\frac{S_1}{S_3}} \left( \frac{P_1}{P_3} \right)} \right)} \end{cases}$$

Предварительные измерения показали, что полученные значения коэффициентов отличаются от приведённых в справочной литературе. Это можно объяснить различием режимов сверления, заточки, материалом сверла в опытах и литературе. Для сопоставления показателей обрабатываемости была введена коррекция величины  $P_0$ .

Табл. 1. Результаты опытов.

Материал	Номер опыта	Диаметр сверла, мм	Масса груза, кг	Время $\tau$ , сек	Глубина $l$ , мм	Соп	qоп	уоп	Скор
						Слит	qлит	улит	
Сталь 45	1	6.9	2.7	60	10	133	1	0,6	51,2
	2	6.9	5.1	45	22				
	3	6.9	5.1	79	29	68	1	0,7	
	4	6.9	6.46	18	11				
	5	8.6	5.1	30	8				



Продолжение табл. 1

Алюминий	6	8.6	1.36	55	14	53,6	1,1	0,7	9,2
	7	6.9	2.7	14	13				
	8	6.9	5.1	11	16	9,8	1	0,7	
	9	8.6	1.36	100	17				
	10	6.9	1.36	45	17				
Чугун серый	11	6.9	1.36	61	10.5	163,5	0,9	0,8	58,4
	12	6.9	2.7	25	10	42,7	1	0,8	
	13	6.9	5.1	11	12.5				
	14	8.6	5.1	21	15				

Вывод: при использовании разработанной установки были получены коэффициенты обрабатываемости, близкие к приведённым в литературе.

### Литература

1. Даниленко Б.Д., Зубков Н.Н. Выбор режимов резания (продольное точение, сверление спиральными сверлами, фрезерование концевыми фрезами): Учеб. пособие / Под ред. В.С. Булошниковой. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 52 с.
2. Малевский Н. П., Даниленко Б. Д. Проектирование и применение спиральных сверл. / Учебное пособие по курсу ОПРИ. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000 г.
3. Косилова А.Г., Мещерякова Р.К. Справочник технолога-машиностроителя, Т. 2. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

УДК 621.941.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ РЕЗЦОВ ИЗ НИТРИДА БОРА

Василий Владимирович Лапшин

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

*Научный руководитель: С.В. Грубый,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В современных условиях механосборочного производства расширяется применение современной и эффективной технологии – использование резцов с режущей частью из нитрида бора. Эта технология рассматривается как замена шлифованию. С помощью этих резцов можно осуществлять токарную обработку сталей твёрдостью 45...65 HRC. Токарная обработка по уровню затрат на 70% ниже, чем шлифование и характеризуется гибкостью, небольшими вспомогательным и подготовительным временем, высоким качеством обработки.

Применение резцов из нитрида бора сдерживается в связи с отсутствием рекомендаций по рациональным условиям и режимам резания. Экспериментальные исследования проведены для повышения эффективности токарной обработки

заготовок из закалённой стали резцами из нитрида бора производства различных инструментальных фирм.

Для проведения экспериментов по исследованию износа резцов из нитрида бора была выполнена закалка двух заготовок из стали ШХ-15. Закалка проводилась в лаборатории кафедры МТ-8 в миниэлектropечи МПЛ-16. После снятия с поверхности обезуглероженного слоя, был проведен контроль твёрдости, который показал, что заготовки закалены до 58...62 HRC.

Для проведения экспериментов, использовались сборные резцы со сменными многогранными пластинами из нитрида бора двух фирм: Seco (CBN10, CBN200) и Sandvik (сплав 7015). Использовались пластины форм: LCGN 1604MO-0400S-LF CBN10 и CBN 200, DCMW11T308S-LO CBN10, DCGW11T308S01530F 7015.

Пластины из инструментального материала CBN10 (нитрид бора 50%, размер зёрен 2 мкм, связка TiN), CBN200 (нитрид бора 85%, размер зёрен 2 мкм, связка Co-W-Al), сплава 7015 - предназначены для обработки стали твёрдостью 45-65 HRC.

Обработка заготовки (диаметр 80 мм) проводилась на станке 16K20 на двух вариантах режимов резания:

- 1) частота вращения шпинделя – 400 об/мин; глубина резания – 0,1 мм; подача – 0.05 мм/об;
- 2) частота вращения шпинделя – 630 об/мин; глубина резания – 0,15 мм; подача – 0.1 мм/об.

При точении заготовки из закалённой стали по 1-му варианту режимов получены результаты:

- марка CBN10, стойкость – 80 минут, износ по задней поверхности – 0,3 мм;
- марка CBN10, стойкость – 39 минут, износ по задней поверхности – 0,17 мм;
- марка CBN200, стойкость – 16 минут, износ по задней поверхности – 0,4 мм.

При точении заготовки по 2-му варианту режимов получены следующие результаты:

- марка CBN10, стойкость – 24 минуты, износ по задней поверхности – 0,15 мм;
- марка 7015, стойкость – 5,4 минуты, износ по задней поверхности – 0,11 мм;
- марка 7015, стойкость – 7,2 минуты, износ по задней поверхности – 0,1 мм.

По результатам проведенных исследований подтверждена целесообразность обработки заготовок из закалённой стали резцами из нитрида бора. Эффективность такой обработки зависит от выбора марки инструментального материала на основе нитрида бора, геометрии резца и формы режущей пластины.

Экспериментальные исследования будут продолжены для сравнения режущих свойств резцов из нитрида бора различных производителей, включая отечественных.

В частности, отечественными исследователями разработана мелкодисперсная плотноупакованная модификация нитрида бора и изготовлены резцы из этого инструментального материала. Предусмотрена разработка технологии заточки таких резцов на специальном ультрапрецизионном станке с последующим исследованием их режущих свойств на операциях обработки высокоточных деталей из различных закаленных материалов.

УДК 621.9

## ПРОФИЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Наталия Александровна Зюзина

Студентка 6 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: О.В. Мальков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В настоящее время существует множество способов получения резьбы, одним из которых является резьбофрезерование. Однако, в литературных источниках не представлены методики профилирования резьбовых фрез с винтовой стружечной канавкой, поэтому цель данной работы – разработать методику корригирования профиля резьбообразующей части резьбовой фрезы с учетом угла подъема винтовой канавки  $\omega$ , переднего угла  $\gamma$  и заднего угла  $\alpha$ , диаметра  $d$  и шага  $P$  инструмента [1].

В работе предложена схема определения углов профиля зуба с использованием функции формы торцевого сечения винтовой стружечной канавки, представленная на рис. 1.

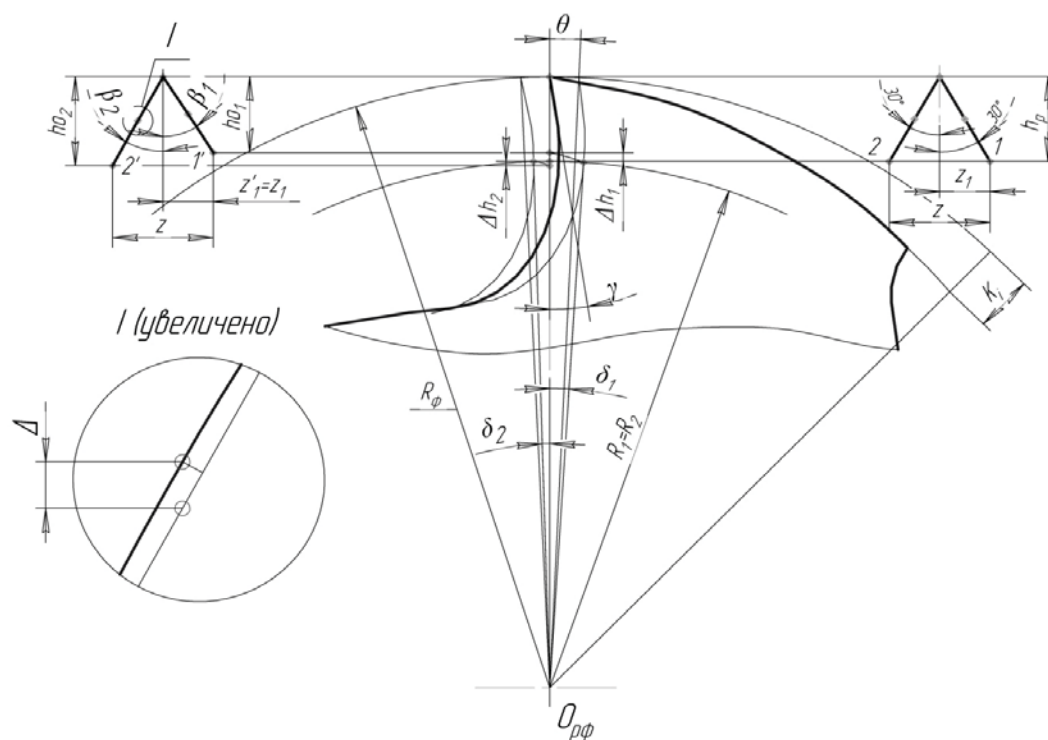


Рис. 1. Схема профилирования зубьев резьбофрезы

На схеме справа показан теоретический профиль метрической резьбы шага  $z$  с одинаковыми половинами угла профиля равными  $30^\circ$ , слева – профиль скорректированного зуба резьбообразующей части резьбофрезы, посередине – торцевое сечение канавки в точках 1,2 и вершине зуба с учетом его поворота на угол  $\theta$  при перемещении вдоль оси инструмента, который зависит от угла  $\omega$  и диаметра инструмента. На образующей теоретического профиля резьбы берем точку 1 на расстоянии  $z_1$ , переносим на осевую плоскости фрезы, проходящую через вершину зуба, затем по затыловочной кривой опускаем ее на соответствующее торцевое сечение, повернутое на угол  $\theta$ . Таким образом, на расстоянии  $z_1$  на профиле зуба после корректирования получаем точку 1'. Соединив вершину профиля и точку 1', получили угол профиля  $\beta_1$ . Аналогично строится угол  $\beta_2$ . Поскольку координата  $z$  переносится на резьбу без изменения, а высота профиля зуба  $h_o$  в т.1 и 2 отличаются, следовательно, после корректирования профиль зуба является несимметричным. При этом установлено, что боковые стороны профиля зуба являются криволинейными. Поскольку технологически такой профиль получить сложно, проведена оценка точности профиля резьбы при прямолинейных сторонах профиля зуба. Для резьбы М32 с шагом  $P=2$  мм и степени точности 6 ( $TD_2/2=112$  мкм), согласно расчету, резьбофрезой  $d=25$  мм,  $z=3$ ,  $\omega=30^\circ$ ,  $\gamma=15^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$  получили  $TD_2/2=104$  мкм, следовательно, резьба, полученная данной резьбофрезой, попадает в поле допуска.

Анализ стандартов на цельные твердосплавные концевые фрезы показал, что профиль винтовой канавки задается в нормальном сечении, поэтому в работе предложена методика пересчета нормального сечения в торцевое сечение с целью ее использования при корректировании профиля зубьев резьбофрезы.

#### Литература

1. Мальков О.В., Литвиненко А.В. Общий случай профилирования зубьев резьбовой части сверлорезьбофрезы / Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №2. - С. 77-84.

УДК 542.67, 621.91.01

### СЕТКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ РАСТЯЖЕНИЕМ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ОБРАБОТАННОЙ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ

Сергей Юрьевич Коровушкин

Студент 6-го курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технология»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Н.Н. Зубков,  
доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории НИИКМ и ТП,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Целью настоящей работы является получение титановых (ВТ1-00) сеток для герниопластики (имплантанты для лечения грыж), получаемых из листовых

заготовок методом деформирующего резания (ДР). Плетеные сетки из титана имеют высокую стоимость в силу нетехнологичности получения титановой микропроволоки. Метод ДР позволяет использовать относительно дешевые тонколистовые титановые заготовки с возможностью получения сеток с ячейками управляемого размера двух различных видов. По сравнению с плетеными сетками, преимуществом сеток, получаемых ДР являются также высокая площадь поверхности сеток, необходимая для герниопластики, а также возможность использования обычных токарных станков для их получения.

При использовании листовых заготовок лист натягивается на цилиндрической оправке, после чего последовательно обрабатывается методом ДР с обеих сторон, причем оребрение со второй стороны производится перпендикулярно для нерастяжных [1] и под углом к направлению ребер с первой стороны для растяжных сеток. Глубину резания при обработке обеих сторон листа назначают больше половины его толщины, что обеспечивает соединение межреберных зазоров на противоположных сторонах листа (рис. 1).

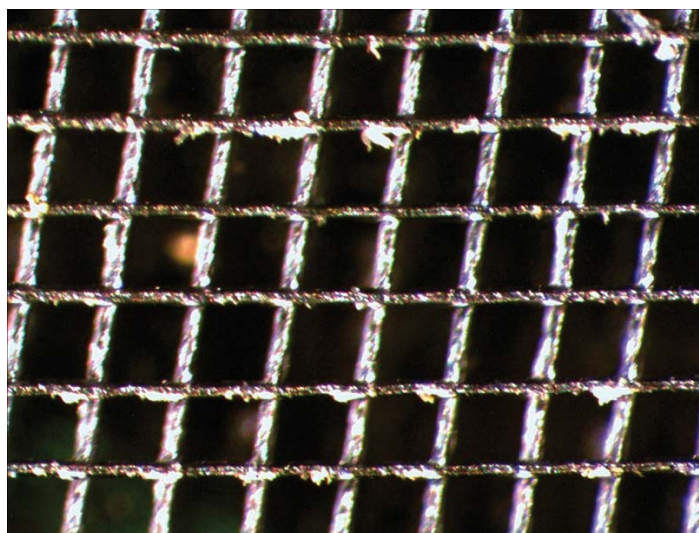


Рис.1. Растяжная сетка. Титан ВТ1-00. Толщина сетки 0,42 мм, размер ячейки 0,3мм.

Растяжная сетка представляет собой совокупность ребер, скрепленных друг с другом таким образом, что с каждой стороны они однонаправлены и эквидистантны, а ячейка значительно превышает толщину ребра, в отличие от нерастяжных. Ячейке возможно придать ромбическую или гексагональную форму. Форма ячейки определяется соотношением жесткости поперечного сечения ребра к его длине. Разработанная в программной среде ANSYS физическая модель сетки подтверждает эту закономерность (рис. )

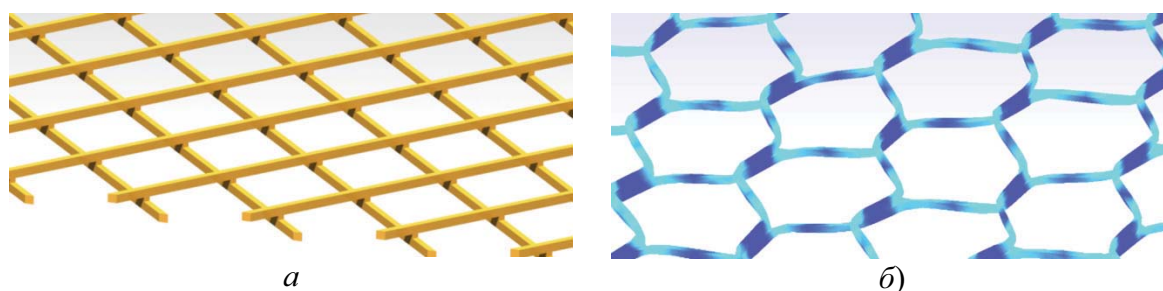


Рис.2. Модель структуры сеток:  
*а* - с ромбической ячейкой; *б* - с гексагональной ячейкой

## Литература

1. Зубков Н.Н. «Новые принципы получения фильтрующих труб и металлических сеток». Тезисы докладов международной конференции «Образование через науку». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – С.185-186

УДК 621.99

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОЛЕБАНИЙ ПРИ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИИ

Виталий Андреевич Косырев

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

*Научный руководитель: О.В. Мальков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Вибрации в зоне резания являются причиной уменьшения производительности обработки резанием, уменьшения точности, снижения стойкости инструмента и т.д. В данной работе проведено исследование влияния вибраций на точность обработки резьб при резьбофрезеровании [1].

В работе моделировался процесс колебаний при резьбофрезеровании трехзубой одновитковой резьбофрезой 327-16B32EC-09 со сменной многогранной пластиной 327R09-18 350MM-TH Sandvik Coromant в отверстии заготовки из алюминиевого сплава Д16Т со следующими параметрами режима обработки: диаметр отверстия  $d = 30$  мм, глубина резания  $t = 2,32$  мм (шаг 2,68 мм - натуральная резьба заменялась фрезерованием канавки треугольного профиля); частота вращения шпинделя  $n = 1600$  об/мин (скорость резания  $v = 88,92$  м/мин); круговая подача  $S_{кр} = 240$  мм/мин (подача на зуб  $S_z = 0,05$  мм/зуб); допуск на средний диаметр выполняемой резьбы 85 мкм.

Проведены экспериментальные и теоретические исследования по изучению силы резания  $F(t)$ , возбуждающей колебания при резьбофрезеровании. Рассмотрены две модели силы резания: эмпирическая и теоретическая [2]. Проведена экспериментальная проверка рассматриваемых моделей силы резания. Предложена методика определения приведенной массы колеблющейся системы, жесткости и коэффициента затухания. Полученные значения силы резания  $F(t)$  в дальнейшем использовались для оценки уровня колебаний.

Проведено численное решение дифференциального уравнения второго порядка в программной среде MATLAB 7.10.0., описывающее колебания резьбофрезы в процессе работы [3]:

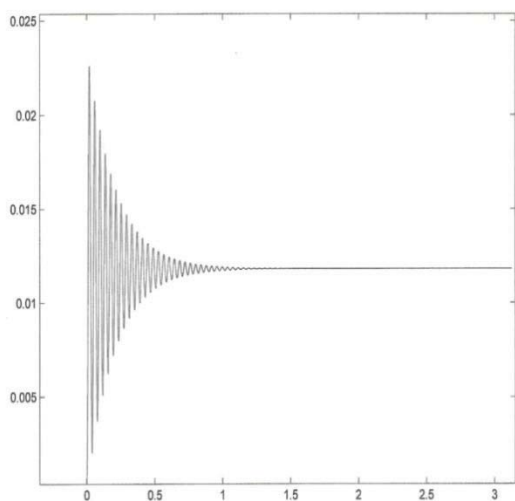
$$m\ddot{x} + 2q\dot{x} + cx = F(t),$$

где  $x$  – координата, вдоль которой совершаются колебания, мм;  $m = 0,1$  кг – приведенная масса системы;  $c = 2807,3$  кг·рад<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> – жесткость системы;  $q = 5,03$  с<sup>-1</sup> – коэффициент затухания;  $F(t)$  – сила, возбуждающая колебания, мН. Данное уравнение имеет четыре составляющие, подлежащие отдельному моделированию: масса  $m$ , жесткость  $c$ , коэффициент затухания  $q$ , возбуждающая сила  $F(t)$ .

Получены графические решения дифференциального уравнения колебаний при использовании каждой модели силы резания, представленные на рис. 1.

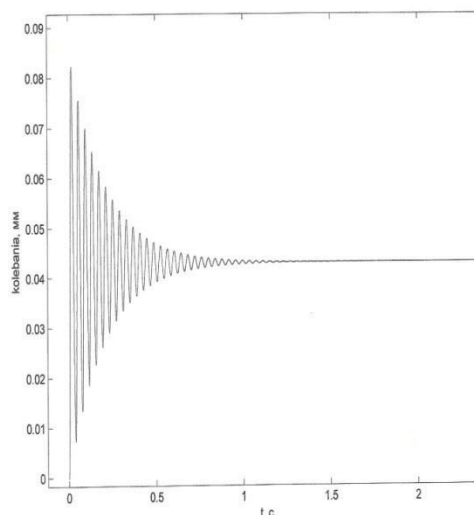
В первый момент времени зафиксирован всплеск виброперемещений: до значений 25,5 мкм для эмпирической модели силы резания и 83 мкм для теоретической модели силы резания. Далее зафиксирована стабилизация виброперемещений вокруг значений 11,83 мкм для эмпирической модели силы резания и 43,049 мкм для теоретической модели силы резания. Размах значений виброперемещений после стабилизации равен 1,122 нм для эмпирической модели силы резания и 4,591 нм для теоретической модели силы резания.

Виброперемещение, мм



Время, с

Виброперемещение, мм



Время, с

Рис. 1. Графическое решение уравнения при использовании эмпирической (слева) и теоретической (справа) модели силы резания

По полученным данным можно сделать вывод о том, что значения полученных виброперемещений при резьбофрезеровании в указанных условиях обработки не превышают допуск на средний диаметр и на диаметр вершин обработанной резьбы, определенный по ГОСТ 16093-81.

### Литература

1. *Anna Carla Araujo, Jose Luis Silveira, Shiv Kapoor*. Force prediction in thread milling. – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 18-21 мая 2003.
2. *Зорохович А.А.* Резьбофрезерование и резьбофрезерные станки. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1940. – с. 4-21.
3. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – с. 44-50.

УДК 621.9.02

## КОНСТРУИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОРЕБРЕНИЯ ТРУБ

Сергей Александрович Погодин

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

*Научные руководители: Н.Н. Зубков<sup>(1)</sup>, А.И. Овчинников<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории НИИКМ и ТП<sup>(1)</sup>,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Целью исследовательской работы была разработка автоматизированной установки для оребрения труб малой и средней длины методом деформирующего резания (ДР). Было принято решение сконструировать токарный станок с ЧПУ на основе сварной рамы и комплектующих компании HIWIN, производящей высокотехнологичные компоненты для промышленных станков, самолетов и медицинского оборудования.

Техническая характеристика установки:

Длина заготовок:  $L=0,5...1,2$  м;

Диаметр заготовок:  $d=12...22$  мм;

Длина гладких концов оребренных труб:  $l=18...20$  мм;

Шаг оребрения:  $S=0,5...1,2$  мм;

Глубина врезания резца:  $t=0,6...1,2$  мм;

Частота вращения шпинделя:  $n=1000...2000$  об/мин.

Установку условно можно разделить на три основные части (рис. 1):

- обрабатывающий комплекс, состоящий из передней и задней бабки с устройством центрирования заготовки, раздвижного люнета и узла поперечной и продольной подачи;
- устройство поперечной подачи трубных заготовок с полостями для размещения электроники и сменного инструмента;
- устройство выгрузки оребренных заготовок.

Все узлы установки и направляющие базируются на стальной плите, обработанной с заданной точностью для крепления рельсовых направляющих и специальным прямоугольным отверстием для выгрузки оребренных заготовок. Плита основания, в свою очередь, крепится на сварной раме из профилей 60x140 мм. К сварной раме крепится устройство подачи трубных заготовок на линию центров установки.



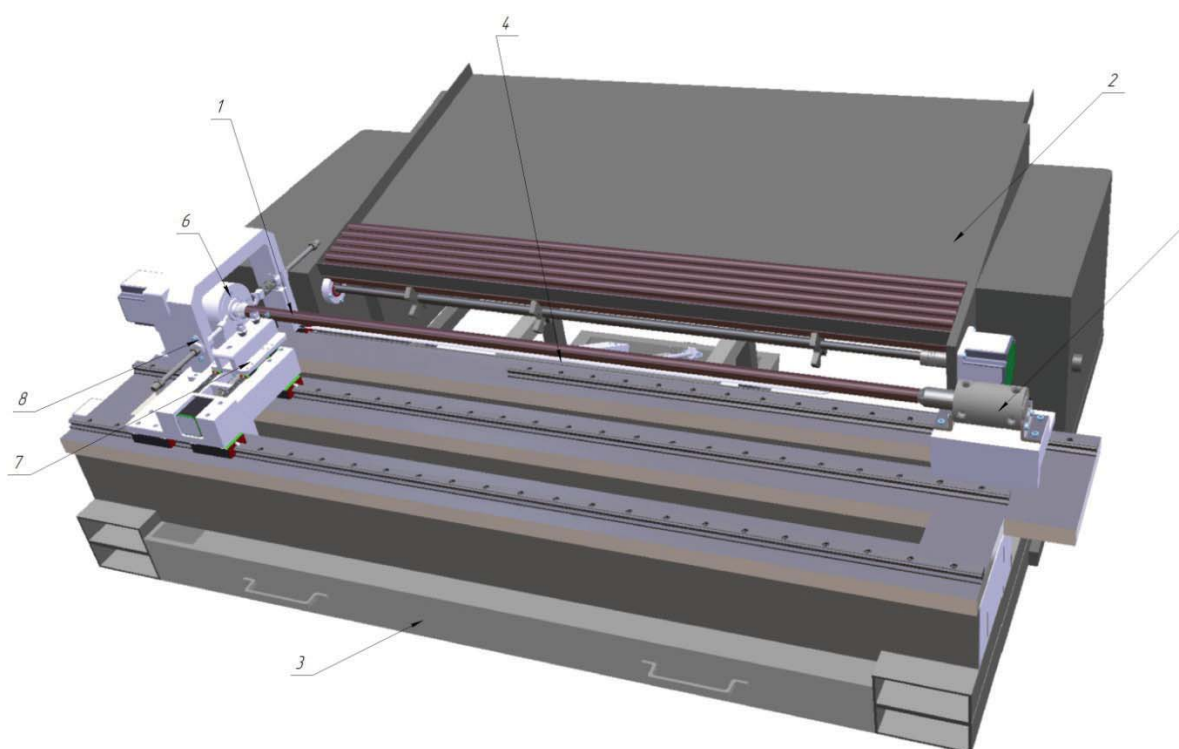


Рис. 1 Компоновочная схема установки.

Принцип работы установки:

1. Заготовка 1 из магазина 2 подается специальным устройством поперечной подачи труб 4 на линию центров установки. Далее пневмоцилиндром 5, играющим роль заднего центра, расположенного на задней бабке, заготовка поджимается вдоль своей оси к рифленому центру 6, установленному в шпинделе установки. Рифленый центр осуществляет передачу крутящего момента на трубную заготовку.

2. После базирования заготовки в центрах устройство подачи, поддерживающие заготовку, возвращается на прежнее место. Раздвижной люнет 8 жестко связан с основанием резцедержки, перемещается вдоль оси заготовки в начальное положение и является дополнительной опорой трубной заготовки в процессе ее оребрения.

3. Резцедержка 7 с инструментом для ДР перемещается вдоль оси заготовки согласно программе и осуществляет процесс оребрения.

4. По окончании обработки люнет размыкается, задний центр отводится от заготовки, освобождая ее, после чего оребренная труба под действием силы тяжести падает в устройство выгрузки оребренных труб 3.

УДК 621.9.025.728.78

## РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА

Артем Олегович Потапенко

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

Научный руководитель: Д.В. Виноградов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В современных условиях большое значение приобретает экономия невозобновляемых природных ресурсов. Изделия из твердого сплава до 97% состоят из вольфрама – редкого и дорогого материала. Использование вторичного твердого сплава началось в 70-х годах, но для режущих инструментов не получило широкого распространения. Вторичный твердый сплав используется при изготовлении режущего инструмента, но лишь в качестве добавки к основному сырью.

Задачи данной работы заключаются в изучении возможности изготовления режущего инструмента из переработанного твердого сплава и в сравнении режущих свойств пластин из переработанного твердого сплава с обычными пластинами.

Для этого была изготовлена партия сменных четырехгранных токарных режущих пластин (SNMM 150408) из вторичного твердого сплава марки ВК-6. Одновременно с пластинками из переработанного порошка были изготовлены контрольные пластины из стандартного порошка. Спекание контрольных и экспериментальных пластин проводилось в одной печи с одними и теми же режимами спекания.

Стойкостные испытания пластин проводились при точении чугуна на форсированных режимах (скорость резания 153 м/мин, подача 0,2 мм/об, глубина резания 1,5 мм). По результатам испытаний были построены кривые износа для экспериментальной и контрольной пластин, которые показаны на рисунке 1.

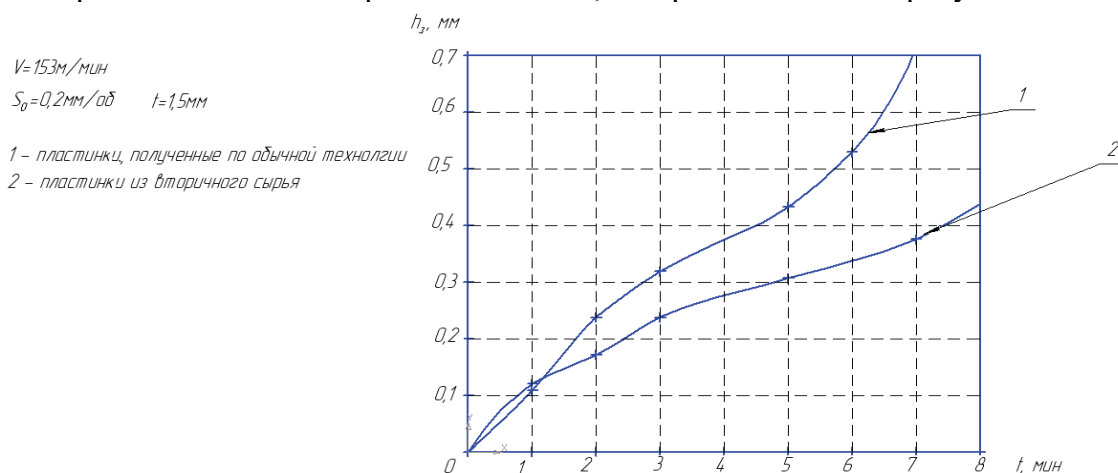


Рис. 1. Результаты испытаний на стойкость

Испытания показали, что время работы пластины из переработанного твердого сплава до наступления износа по задней поверхности 0.4 мм больше, чем время работы пластины из обычного твердого сплава на 60%.

Исследование структуры спеченных пластин показало, что пластины из переработанного твердого сплава имеют более мелкозернистую структуру. Средний размер зерна карбида вольфрама в пластине из переработанного твердого сплава составил 1,8мкм, а в обычной пластине – 2,8мкм. Такое уменьшение размера зерна карбида вольфрама обусловлено дополнительным временем обработки порошка из восстановленного твердого сплава по сравнению со стандартной технологией.

Предварительные экономические расчеты показали экономию в себестоимости пластинок из переработанного твердого сплава на 23% от общей стоимости и на 50% от стоимости заготовительного этапа производства.

### Литература

1. *Панов В.С. Чувилін А.М.* Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: Учебное пособие для вузов.– М.:МИСИС, 2001. – 428 с.

**УДК 621.7.075, 62-71**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ШТЫРЬКОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ**

Александр Сергеевич Трофимович

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

*Научные руководители: Н.Н. Зубков<sup>(1)</sup>, А.И. Овчинников<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории НИИКМ и ТП<sup>(1)</sup>,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время во многих отраслях промышленности, научных исследованиях, в военных целях применяются мощные высокопроизводительные суперкомпьютеры. Чем выше производительность компьютера, тем больше выделяют тепло его элементы. Воздушные системы охлаждения не справляются с выделяемыми тепловыми потоками. Для решения этой проблемы применяются водоблоки, то есть тепловыделяющие элементы компьютера через специальный теплообменник охлаждаются водой.

Основная часть современного водоблока – пластина с высокой теплопроводностью, на которой расположены теплопоглощающие элементы. Существующие конструкции водоблоков основаны на фрезеровании пазов в медной пластине, имеют высокую стоимость, недостаточную тепловую эффективность и

сложность в изготовлении. Для повышения эффективности охлаждения необходимо увеличить площадь теплообмена и турбулизировать поток. Значит, на этой ограниченной площади нужно разместить как можно больше теплорассеивающих элементов с как можно большей суммарной площадью.

Предлагается формировать высокоразвитые поверхности теплообмена в форме штырьковых структур (шипов) на медных заготовках безотходным методом деформирующего резания (ДР).

Шипы получают путем перекрестного образования рёбер методом ДР, в зависимости от угла между главным движением первого и второго прохода образуются шипы различной формы. Шипы могут быть изготовлены на строгальном станке или для повышения производительности на фрезерном станке.

На медных заготовках были получены шипы различных форм, основные из которых: иглы, винтовые шипы (рис. 1) и в форме крючков. При подаче  $S=0,8$  мм/дв.ход и глубине резания  $t=0,4$  мм площадь поверхности возрастает после первого прохода (при получении ребер) в три раза. Второй проход приводит к получению штырьковой структуры и в конечном итоге увеличивает площадь поверхности, по сравнению с исходной в пять раз.

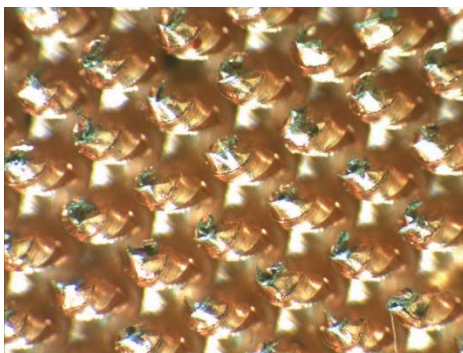


Рис.1. Штырьковая структура в виде винтовых шипов

**УДК 621.9**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТЧИКОВ С ВНУТРЕННИМ РАЗМЕЩЕНИЕМ СТРУЖКИ (МВРС) ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Александр Александрович Угольников

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

*Научный руководитель: А.В. Литвиненко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технология»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время основным направлением развития технологических процессов в металлообработке является повышение надежности работоспособности метчиков. Одним из путей решения данной проблемы является применения метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС). Был создан экспериментальный стенд на базе станка 2Н135, динамометра УДМ-600 и установки с подачей в зону резания ионизированного воздуха. Исследования с помощью данного стенда позволяют получить числовые значения момента врезания и момента реверса метчика при резьбонарезании.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- Выведена зависимость момента резьбонарезания и момента реверса с/без СОТС в сплаве АК6.
- Выведена зависимость момента резьбонарезания и момента реверса с/без СОТС в сплаве М0Б.
- Выведена зависимость момента резьбонарезания и момента реверса с/без СОТС в чугуне.
- Выведена зависимость момента резьбонарезания и момента реверса с/без СОТС в стали 40Х.

Наибольшее число выкрашиваний и поломок метчиков (свыше 75 % случаев) происходит при реверсе на 90 - 120° первого оборота вывинчивания метчика. Исследования показали, что в начале реверса из глухого отверстия крутящий момент имеет максимальное значение по причине защемления метчика фрагментами корней стружки.

При обратном ходе каждый элементарный зуб на режущей части метчика должен пройти зону, где остались корни стружки от последующего элементарного зуба и каким-либо образом смять их. При этом на режущую кромку со стороны задней поверхности будет действовать давление, необходимое для смятия стружки зубом. При достижении определенной величины, давление может оказаться достаточным для того, чтобы произошло выкрашивание режущей кромки.

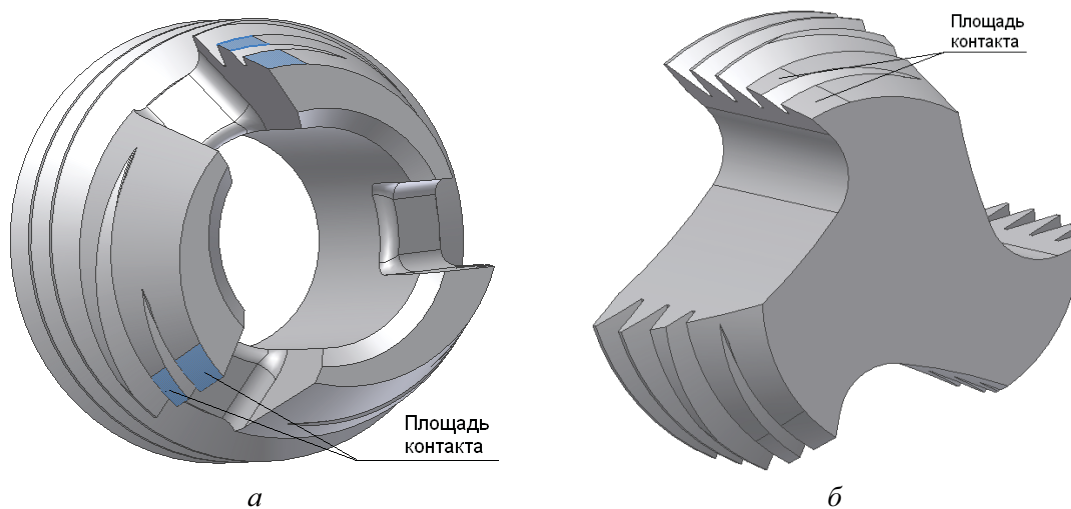


Рис. 1. Конструкции метчиков:  
*a* — МВРС; *б* — Стандартный метчик

Конструкция МВРС имеет возможность упругой деформации режущего участка зубьев, вследствие чего уменьшаются максимальные напряжения на режущих кромках, что уменьшает возможность его заклинивания и выкрашивания режущих кромок при реверсе.

#### **Выводы:**

1. Конструкции МВРС имеют возможности деформации режущего участка зубьев при реверсе в радиальном направлении. Например, для МВРС М12х1,5 максимальное перемещение составляет  $\varepsilon = 0,05\text{мм}$  (рис.1, *a*), а у стандартного (рис.1, *б*) метчика -  $\varepsilon = 0,015\text{мм}$ ;

2. Напряжения на режущей части стандартного метчика больше, чем у МВРС, например, для М12 у стандартного метчика  $\sigma = 1552\text{МПа}$ , а МВРС -  $\sigma = 596\text{МПа}$ , т.е. уменьшается в 2,6 раза.

#### **Литература**

1. *Нгуен Туан Хиен*. Разработка конструкций и исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки.

**УДК 621.9**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ПО МЕТОДУ МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА**

Мария Анатольевна Чихарева

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

*Научный руководитель: Л.Д. Малькова,  
старший преподаватель кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время, при интенсивном развитии станкостроения, программного обеспечения и вычислительной мощности машин, стало возможным и обоснованным применение в теории резания (и как следствие в теории энергосбережения) полиномиальных моделей, погрешность которых значительно ниже погрешности расчетов, выполненных по показательно-степенным моделям. Полиномиальные модели дают более точное описание исследуемого процесса, так как позволяют учитывать большее число факторов и их комбинаций, оказывающих прямое и косвенное влияние на изучаемый процесс потому использование таких моделей обосновано при тенденции повышения точности обработки на один квалитет за 5...10 лет.

Визуально полиномиальная модель не может дать геометрической интерпретации исследуемому процессу, но с появлением мощных современных машин математическая реализация полиномиальной модели - трудоемкого процесса численного построения полинома и нахождения его экстремальных точек, успешно осуществляется в ряде пакетов математического программного обеспечения.

В данной работе представлен анализ модели, который был выполнен в программе MatLab. Целевая функция - тангенциальная составляющая силы резания при точении – функция, определенная в 7-ми мерном пространстве:

$$P_z = (x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), x(6)),$$

где  $x(1)$  –  $S_0$  (подача, мм/об);  $x(2)$  –  $v$  (скорость резания, м/мин);  $x(3)$  –  $t$  (глубина резания, мм);  $x(4)$  –  $HB$  (твердость обрабатываемого материала);  $x(5)$  –  $\gamma$  (передний угол резца, град);  $x(6)$  –  $h_z$  (износ по задней поверхности резца, мм).

Данная модель была получена в результате дробнофакторного эксперимента с 6-тью параметрами на 2-х уровнях.

Система технологических ограничений по каждой из переменных:

$$\begin{cases} 0,097 \leq S_0 \leq 0,39 \\ 48 \leq v \leq 156 \\ 0,5 \leq t \leq 2 \\ 200 \leq HB \leq 250 \\ 0 \leq \gamma \leq 15 \\ 0,16 \leq h_{\varphi} \leq 0,8 \end{cases}$$

Задача оптимизации режимных параметров сводится к поиску глобального минимума целевой функции внутри области, описанной системой технологических ограничений.

Метод множителей Лагранжа и условие Каруша — Куна — Таккера позволяют исследовать нелинейную ограниченную функцию нескольких переменных.

$$\begin{aligned} P_z = & 536.65 + 271.73 \cdot x(1) + 318.58 \cdot x(3) + 25.90 \cdot x(4) - 25.29 \cdot x(1) \cdot x(2) + 170.77 \cdot x(1) \cdot x(3) + \\ & + 18.33 \cdot x(1) \cdot x(4) - 11.74 \cdot x(2) \cdot x(3) + 29.59 \cdot x(2) \cdot x(6) - 15.16 \cdot x(1) \cdot x(2) \cdot x(3) - \\ & - 16.93 \cdot x(3) \cdot x(5) + 16.06 \cdot x(2) \cdot x(5) - 22.44 \cdot x(6) - 43.82 \cdot x(5) \end{aligned}$$

В результате получится система из 6-ти уравнений 2-го порядка (градиент функции Лагранжа), решение которой аналитически затруднительно:

$$\begin{aligned} \text{grad} \bar{L} = \text{grad} \bar{P}_z + \sum_{i=1}^{12} \mu_i \cdot \bar{g}_i = \\ = \begin{pmatrix} 271.73 - 25.29 \cdot x(2) + 170.77 \cdot x(3) + 18.33 \cdot x(4) - 15.16 \cdot x(2) \cdot x(3); \\ - 25.29 \cdot x(1) - 11.74 \cdot x(3) + 29.59 \cdot x(6) - 15.16 \cdot x(1) \cdot x(3) + 16.06 \cdot x(5); \\ 318.58 + 170.77 \cdot x(1) - 11.74 \cdot x(2) - 15.16 \cdot x(1) \cdot x(2) - 16.93 \cdot x(5); \\ 25.90 + 18.33 \cdot x(1); \\ - 16.93 \cdot x(3) + 16.06 \cdot x(2) - 43.82; \\ 29.59 \cdot x(2) - 22.44; \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mu_1 - \mu_7 \\ \mu_2 - \mu_8 \\ \mu_3 - \mu_9 \\ \mu_4 - \mu_{10} \\ \mu_5 - \mu_{11} \\ \mu_6 - \mu_{12} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Результат расчета в программе MatLab:

$$P_z \min = 96,75H, \text{ при}$$

$$\begin{cases} S_0 = 0,097 \\ v = 48 \\ t = 0.5 \\ HB = 200 \\ \gamma = 15 \\ h_{\varphi} = 0.16 \end{cases}$$



### Литература

1. Древаль А.Е., Малькова Л.Д. Совместное влияние механической обработки на величину составляющих силы резания – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.: Известия ВУЗов. Машиностроение, 2007. – с.53-60.
2. Зорич В. А. Математический анализ. Часть 1. — изд. 2-е, испр. и доп. — М.: ФАЗИС, 1997

УДК 621.914.1

## СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРЦЕВОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗАМИ

Александра Евгеньевна Шаповалова

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

*Научный руководитель: Л.Д. Малькова,  
старший преподаватель кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московского государственного технического университета имени Н.Э.Баумана*

Энергопотребление при механической обработке является важной характеристикой технологической операции, оно зависит от большого количества одновременно действующих факторов и может быть критерием выбора операции при формировании технологического процесса.

Обработка открытой плоскости может быть выполнена с помощью торцевого фрезерования, цилиндрического фрезерования, строгания, долбления, протягивания и т.д. В представленной работе сравнивалось энергопотребление наиболее распространенных способов - фрезерования цилиндрической и торцевой фрезами. Для этого была спланирована, подготовлена и проведена серия экспериментов по обработке открытой поверхности 50x50 мм из стали 45. Обработка проводилась на вертикально-фрезерном станке модели 6P12 с глубиной фрезерования  $t = 1$  мм, причем концевая фреза работала только цилиндрической частью, имитируя цилиндрическое фрезерование. Основные параметры инструментов сведены в табл. 1, а режимы обработки – в табл. 2.

Табл. 1. Параметры используемых режущих инструментов

Инструмент	Материал	Диаметр, мм	Число зубьев	Геометрические параметры			
				$\omega$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha'$
фреза концевая ГОСТ 17026-71	P18	40	4	32°	34°	8°	-
фреза торцевая ГОСТ 29092-91	P18	100	18	23,5°	15°	15°	10°

Табл. 2. Режимы обработки

Способ обработки	Частота вращения шпинделя $n$ , об/мин	Скорость резания $v$ , м/мин	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб при минутной подаче $S_{мин}$ , мм/мин							
			25	31,5	40	50	63	80	100	125
цилиндрическое фрезерование	160	20,1	0,039	0,049	0,063	0,078	0,098	0,125	0,156	0,195
торцевое фрезерование	63	19,7	0,022	0,028	0,035	0,044	0,056	0,071	0,088	0,11

Показания составляющих силы резания снимались динамометром УДМ-600 и регистрировались платой аналого-цифрового преобразователя по трем ортогональным составляющим. После обработки данных и определения затраченной энергии были получены следующие результаты, представленные на рис. 1 в виде графика.

Установлено, что цилиндрическое фрезерование является более энергоемким способом обработки заданной поверхности в рекомендованном диапазоне режимов резания. Можно предположить, что данное различие вызвано различными схемами срезания припуска: при цилиндрическом фрезеровании мы имеем дело с очень маленькими толщинами стружки при врезании режущего клина, а при торцевом толщина стружки почти не меняется (изменение не превышает 10%), что обеспечивается симметричностью фрезерования.

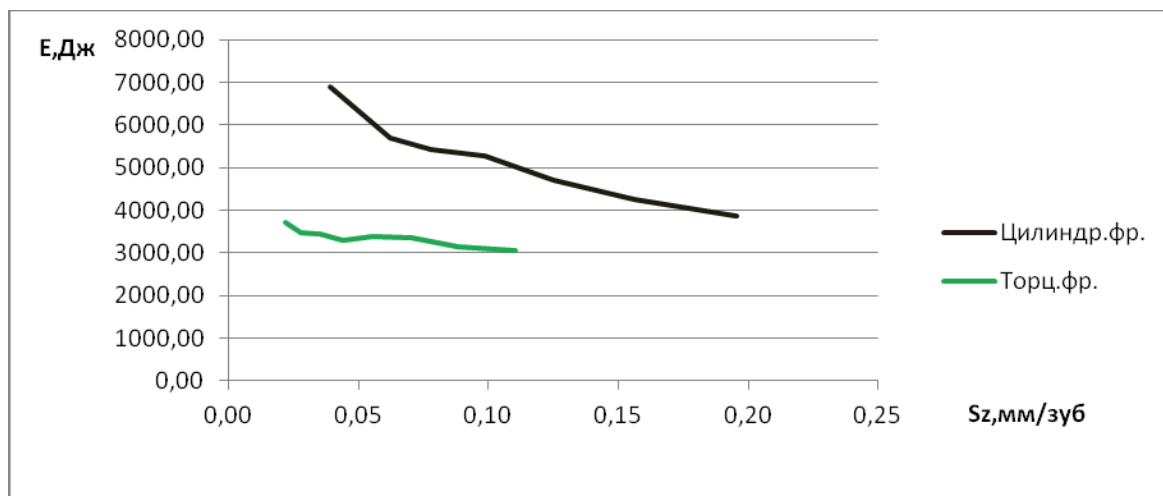


Рис. 1. Итоговый график зависимости энергопотребления для цилиндрического и торцевого фрезерования от подачи на зуб

### Литература

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

УДК 621.91

## АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИНИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СВЕРЛЕНИЯ

Полина Юрьевна Щёлокова

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

*Научный руководитель: А.Е. Древаль,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Обработка металлов резанием является одним из самых универсальных, но энергоемких методов обработки. Вопрос снижения энергопотребления при резании актуален так же как и в других сферах производства.

Энергию, затрачиваемую на процесс резания, можно рассмотреть как сумму двух составляющих: эффективной энергии - энергии, необходимой на непосредственное снятие припуска  $E_{эф}$  и энергии, потребляемой на преодоление различных дефектов  $E_{деф}$ . Техническое состояние и процессы в зоне обработки зависят от наличия СОТС, жесткости системы СПИД, режимных и других параметров. Во время работы это состояние изменяется, результатом изменений является накопление дефектов, в качестве которых можно рассматривать износ режущего клина и изменение его геометрии. Возникающие дефекты ухудшают условия резания, из-за чего увеличивается энергия, необходимая на снятие единицы объема припуска. Таким образом, общую энергию, потребляемую на резание, можно выразить формулой (1):

$$E_{общ} = E_{эф} + E_{деф} \quad (1)$$

Эффективная энергия остается неизменной, она зависит только от строения и физико-химических свойств обрабатываемого материала.

Возможность теоретического исследования зависимости энергопотребления от различных факторов с учетом изменяющегося в процессе резания состояния зоны обработки позволяет без проведения экспериментального исследования определять оптимальные режимные параметры, соответствующие минимуму энергопотребления, экономя тем самым время и ресурсы.

В данной работе представлен общий алгоритм решения задач по нахождению минимума энергопотребления с учетом специфики математических зависимостей, описывающих процессы резания. Алгоритм схематично представлен на рис. 1.

В качестве иллюстрации применения данного алгоритма рассмотрено нахождение скорости резания, соответствующей минимуму энергопотребления при сверлении.

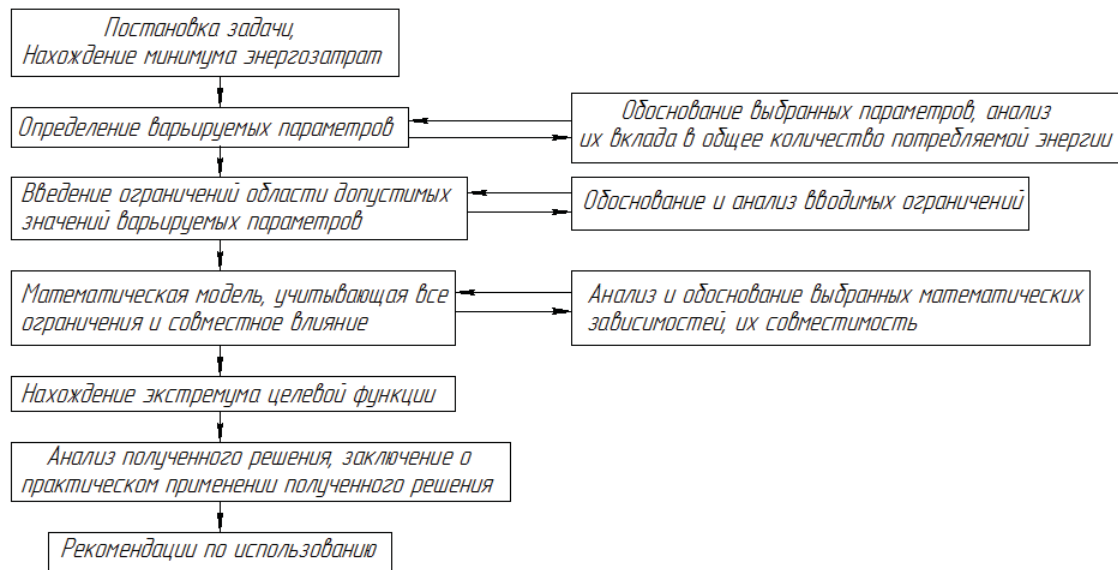


Рис. 1. Алгоритм нахождения режимных параметров минимального энергопотребления

УДК 621.91

## НАРОСТООБРАЗОВАНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Максим Сергеевич Лужанский

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

Научный руководитель: А.Е. Древаль,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В рамках исследований ставится задача выявить те особенности наростообразования, которые оказывают влияние на работоспособность режущего инструмента.

Размеры нароста, местоположение его на лезвиях, частота срывов оказывает существенное влияние на процесс обработки. Эти характеристики нароста связаны с параметрами режима обработки и с состоянием лезвий, в частности с величиной их износа.

На образовавшийся нарост действует система внешних сил, нормальных и касательных, а также силы трения и адгезии. В момент нарушения баланса сил

происходит частичное или полное разрушение нароста, в дальнейшем нарост восстанавливается до следующего разрушения. Процесс разрушения и восстановления нароста определяется физико-химическими свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, параметрами режима резания, геометрическими параметрами инструмента, качеством поверхности лезвий. Процесс образования и срыва нароста при резании металла непрерывен.

Существует несколько стадий "жизненного цикла" существования нароста. Укрупнено можно считать, что существует стадия, когда нарост, нависая над задней поверхностью инструмента, полностью предохраняет лезвие инструмента от контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью, существует стадия, когда нарост разрушается, и стадия когда нарост отсутствует полностью или имеет такие размеры, что имеет место контакт задней поверхности с обрабатываемой поверхностью. В это время происходит изнашивание задней поверхности инструмента. Это предопределяет циклическое накопление износа по задней поверхности.

В таком случае стойкость инструмента при установленной величине допустимого износа определяется в зависимости от числа циклов по формуле:

$$T = (t_k + t_n) \cdot N;$$

где  $t_k$  – время контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью,  $t_n$  – время отсутствия трения задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью, связанное с существованием нароста,  $N$  – число циклов.

Для оценки зависимости  $t_k$  и  $t_n$  от скорости резания выполнены эксперименты. Реализована схема свободного косоугольного резания на заготовке из стали 45, твердостью HB=200, канавочным резцом из P18 с шириной режущей кромки 3 мм,  $\gamma = 8^\circ$ ;  $\alpha = 12^\circ$ . Заготовка представляет собой вал диаметром 98 мм, на котором нарезана прямоугольная винтовая канавка. Резание осуществлялось с глубиной  $t = 0.1$  мм и с подачей равной шагу винтовой канавки, ширина резца перекрывала ширину буртика винтовой канавки. Оптическим путем осматривалась обработанная винтовая поверхность, и по изменению шероховатости четко фиксировался путь контакта задней поверхности инструмента с обработанной поверхностью и путь отсутствия контакта. В ходе эксперимента варьировалась скорость резания в диапазоне от 3 до 30 м/мин. Было проведено 12 опытов по 50 измерений, результатом которых стали усредненные значения длины пути контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью и длины пути его отсутствия. Вычислялись  $t_k$  и  $t_n$  через скорость резания и длину пути контакта и его отсутствия.

По результатам измерений получена экспериментальная зависимость отношения  $t_n$  и  $t_k$ , которая имеет вид экстремальной зависимости с максимумом в диапазоне скоростей от 14 до 17 м/мин. Ввиду того, что  $t_n / t_k$  является не монотонной функцией, следует что стойкость инструмента будет не монотонной.

### Литература

1. Древаль А.Е. Диссертация на тему: Повышение эффективности эксплуатации инструментов на основе исследований и разработка методов оценки их надежности. - М.: 1994.

2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Изд. Высшая школа, 1985.

3. Грановский Г.И., Панченко К.П. Фасонные резцы. – М.: Изд. Машиностроение, 1975.

4. Ткаченко И.В. «Разработка и исследование системы критериальных зависимостей отказов осевых инструментов»: Дисс. ... канд. техн. наук. - М.: 1992. - 343 с.

**УДК 53.084.823**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ**

Николай Вячеславович Хорьков

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

*Научный руководитель: А.В. Литвиненко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и  
технология»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Процесс распиловки является одним из распространенных технологических процессов в обрабатывающих отраслях народного хозяйства, связанных с резанием широкого круга материалов естественного и искусственного происхождения. На протяжении долгих лет интенсивно ведется разработка конструкций, технологий изготовления, производство инструментов со специальными покрытиями для высокопроизводительной работы.

В настоящей работе представлен способ повышения работоспособности отрезных фрез путем изменения специфической формы фрез, прошитых на электроэрозионном станке, благодаря которому в процессе резания осуществляется более равномерное распределение напряжений в корпусе инструмента.



Рис. 1. Фотография конструкций отрезной фрезы

Это доказано теоретическим расчетом напряжений возникающих в процессе резания при помощи конечно-элементного расчета для различных конфигураций прорезных фрез. Были рассмотрены фрезы без орнамента, с двумя орнаментами, тремя, а также четырьмя.

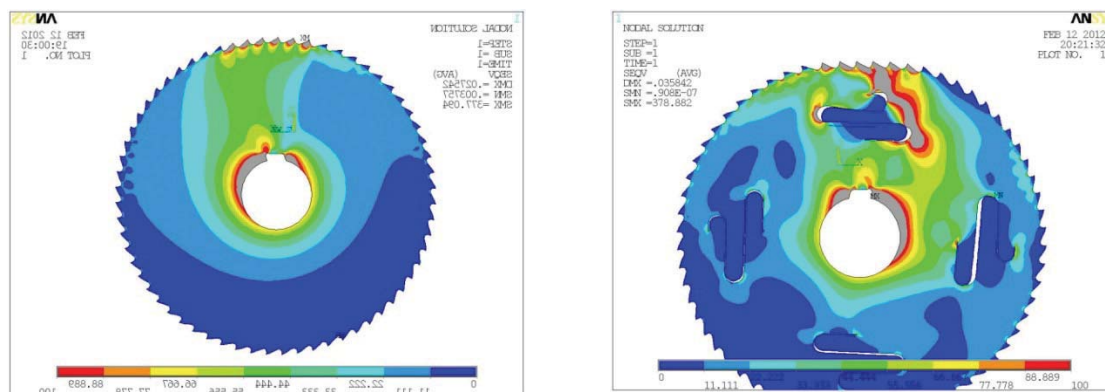


Рис. 2. Распределение напряжений в корпусе фрез различных конфигураций

Предварительно рассчитав режимы резания методом, а потом и проверив их, экспериментально были подобраны оптимальные режимы резания. На которых были проведены эксперименты по определению изменению сил резания для различных конфигураций прорезных фрез.

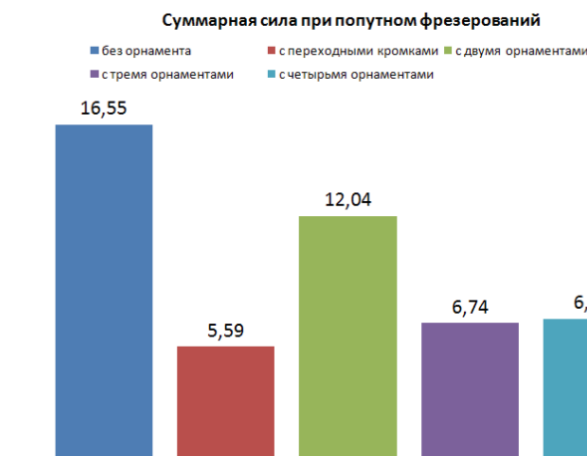


Рис. 3. Изменение сил резания для различных конфигураций фрез

По результатам эксперимента, видно, что силы значительно уменьшались, что приводит к более легким условиям резания, что сыграет на увеличение стойкости инструмента. В дальнейшем исследования будут продолжены для выяснения влияния неравномерного нагрева отрезных фрез на сохранение плоской формы.

### Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещеркова - М.: Машиностроение, 1985. - Т.1. - 656 с.; Т.2. - 496 с.
2. Резание металлов/ Г.И. Грановский, В.Г. Грановский - М.: Высшая шк.,1985. - 304 с.
3. Ангелов Н.П. Испытание и исследование на металлорежущем инструменте. - София: Издательство Технический университет, 1995.

**Секция №3**  
**Технологии машиностроения**



**УДК 621.91.01**

## **НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДИСКОВ ГТД С УЧЕТОМ ПОКРЫТИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Михаил Сергеевич Ёлкин

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени  
П.А. Соловьева*

*Научный руководитель: Р.Н. Фоменко,  
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология  
авиационных двигателей и общего машиностроения»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени  
П.А. Соловьева*

Известно, что для конкретной пары обрабатываемый – инструментальный материал при заданных условиях обработки существуют оптимальные режимы резания, при которых обеспечивается минимальный износ инструмента, а также наилучшие показатели параметров качества поверхностного слоя и эксплуатационные свойства детали (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения, контактная жесткость и др.) после обработки. По исследованиям профессора Силина С. С. оптимальным режимам резания соответствует оптимальная температура резания  $T_{ОПТ}$ , которая является константой для каждой рассматриваемой пары инструментальный-обрабатываемый материал. Значение  $T_{ОПТ}$  достигается при определенной скорости резания  $v_0$ . Таким образом, задача получения поверхности требуемого качества заключается в нахождении оптимальной скорости резания  $v_0$ , которая обеспечит оптимальную температуру резания  $T_{ОПТ}$ .

Имеющаяся теоретико-экспериментальная база [1] позволяет без постановки опытов расчетным методом определять оптимальные режимы резания и различные параметры качества поверхностного слоя детали для инструментов без покрытия. Однако уже несколько десятилетий на производстве используются инструменты с износостойкими покрытиями, в том числе и наноструктурные покрытия 2D и 3D (superlattice), которые значительно повышают производительность обработки по сравнению с инструментами без покрытия. Отсутствие теоретико-экспериментальных зависимостей определения параметров качества поверхностного слоя для инструментов с покрытиями часто приводит к снижению эксплуатационных характеристик ответственных деталей и повышению трудоемкости их изготовления. Для подтверждения влияния износостойких покрытий на различные параметры процесса резания были проведены эксперименты по обработке точением со сменными пластинами с разными коэффициентами трения.

Для установления оптимальной скорости резания  $v_0$  инструментом с различными покрытиями была проведена серия экспериментов при следующих условиях. Обрабатываемый материал – коррозионно-стойкая сталь ЭК26 (05X12H2K3M2AФ). В качестве инструментов использовались сменные

твердосплавные пластины ВК6 SNUN–120412, ГОСТ 3882–74. На сменные пластины ВК6 методом конденсации с ионной бомбардировкой наносились два вида композитных наноструктурированных покрытий: (Ti;Si)N и (Ti;Si;Al)N. Обработка производилась на универсальном токарно-винторезном станке НН 22. Составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  регистрировались универсальным динамометром УДМ–600, подключенным посредством 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя к ПЭВМ. Для определения температуры резания измерялась термо-ЭДС естественной термопары заготовка-резец, образующейся в процессе резания [2]. На основе полученных данных получены уравнения обрабатываемости, представленные в табл.1. Уравнения обрабатываемости позволяют рассчитывать оптимальное значение скорости при различных технологических условиях обработки.

Табл. 1. Уравнения обрабатываемости коррозионно-стойкой стали ЭК26

ЭК26– ВК6Р	ЭК26–(Ti,Si)N–ВК6Р	ЭК26–(Ti,Si,Al)N–ВК6Р
$v_o = \frac{1,68a}{a_1} \left( \frac{S \cdot t \cdot c\rho}{t^{0,77} \cdot S^{\frac{0,72}{0,083}}} \right)^{2,5}$	$v_o = \frac{1,76a}{a_1} \left( \frac{S \cdot t \cdot c\rho}{t^{0,685} \cdot S^{\frac{0,7663}{0,106}}} \right)^{2,47}$	$v_o = \frac{2,27a}{a_1} \left( \frac{S \cdot t \cdot c\rho}{t^{0,96} \cdot S^{\frac{0,7437}{0,0395}}} \right)^2$

где  $S$  – подача, мм/об;  $t$  – глубина резания, мм;  $a$  – температуропроводность обрабатываемого материала, м<sup>2</sup>/с;  $a_1$  – толщина среза, м;  $c\rho$  – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(м<sup>3</sup> · с · град.)

Результаты экспериментов показали, что оптимальная скорость инструмента с покрытием выше, чем у инструмента без покрытия. Чем меньше коэффициент трения  $f_M$  пары покрытие – обрабатываемый материал, тем больше будет оптимальная скорость резания  $v_o$ . В ходе экспериментов производились измерения размерного износа режущих пластин. Наименьшая интенсивность изнашивания зафиксирована при резании пластиной с покрытием (Ti;Si)N.

Для расчета экономической себестоимости вариантов обработки был произведен сравнительный анализ рассматриваемых вариантов с позиций технологической себестоимости обработки детали диск компрессора по критерию минимальной себестоимости операции. Экономическая эффективность от использования режущего инструмента с композитным наноструктурированным покрытием (Ti;Si)N – 710 руб./дет.; (Ti;Si,Al)N – 700 руб./дет.

### Литература

1. Инженерия поверхности деталей [Текст]: под общ. ред. А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Безъязычный В. Ф. Экспресс-метод тарирования термопар [Текст] / В. Ф. Безъязычный, М. В. Тимофеев, Р. Н. Фоменко // Справочник. Инженерный журнал. – 2010. – № 7. – С. 38–42.

**УДК 536.629.7**

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЖЕНИЯ В ГИПЕРЗВУКОВЫХ ПОТОКАХ.**

Эдуард Сергеевич Бирюков

*Аспирант кафедры «Теплофизика»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.Н. Афанасьев,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизика»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный консультант: Ю.В. Жилин,  
научный консультант, кандидат технических наук, начальник отделения НИО-8  
ЦАГИ*

В разработке конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов нельзя обойтись без проведения сложных и дорогостоящих экспериментов.

Большим преимуществом в данной области обладают экспериментальные установки импульсного действия с длительностью эксперимента от 1 до 100 миллисекунд. Эти установки значительно дешевле в эксплуатации по сравнению с аэродинамическими трубами длительного действия. Часто в импульсном процессе удается получить существенно более широкий диапазон изменения параметров гиперзвукового течения.

Однако кратковременность процесса предъявляет жесткие требования к инерционности регистрирующей аппаратуры. Если усредненные за время эксперимента значения давления торможения ещё удаётся непосредственно измерить современными малоинерционными датчиками, то температуру торможения приходится определять расчетным путем [1], что существенно снижает ценность эксперимента как такового.

В работе [2] было показано, что классические методы измерения параметров торможения в аэродинамических потоках длительного действия нельзя применить к кратковременным импульсным процессам в силу того, что за время эксперимента ~ 40 мс параметры торможения изменяются во времени и носят неустановившийся характер.

Гиперзвуковая ударная труба УТ-1М, подробное описание которой приведено в [1, 2] много лет используется в ЦАГИ (г. Жуковский) для исследования теплообмена при аэродинамическом нагреве летательных аппаратов. Она может работать как «классическая» ударная труба, с максимально возможной длительностью эксперимента 5 мс, и как «труба Людвига», с длительностью эксперимента от 20 до 40 мс.

До сих пор параметры торможения потока определялись исключительно расчётным путём в предположении постоянства температуры по длине и сечению канала высокого давления. Для проверки справедливости этого предположения было разработано и сконструировано устройство, оснащенное термопарами типа «хромель — копель».

Результаты, полученные при помощи данного устройства показали, что имеет место существенно неравномерное распределение температур как по длине, так и по сечению канала. На основании приведенных измерений подтвердилось предположение, что выявленная в [3, 4] неоднородность по времени температуры торможения потока во время пуска обусловлена неоднородностью распределения температуры воздуха в камере высокого давления перед пуском [2].

Результаты, полученные в ходе измерений полей температур в ударной трубе УТ-1М, позволили доказать необходимость создания нового метода и устройства для измерения параметров торможения (давления и температуры) в импульсных быстропотекающих процессах.

В рамках работы по измерению параметров торможения в импульсных гиперзвуковых потоках сконструировано устройство (рис. 1) для непосредственного измерения параметров течения в импульсной гиперзвуковой аэродинамической установке УТ-1М ЦАГИ, имеющей характерную длительность эксперимента от 5 до 40 миллисекунд.

Устройство оснащено двумя пьезодатчиками давления [5] и двумя датчиками теплового потока (поверхностные термопары) [6]. Был разработан новый метод обработки их сигналов, позволивший снизить инерционность с 1 секунды до 1 миллисекунды. Разработанное устройство позволяет измерять не только средние значения параметров торможения, но и их пульсационную составляющую, которая существенно влияет на аэродинамику и теплообмен на поверхности гиперзвуковых летательных аппаратов, в частности, на условия ламинарно-турбулентного перехода.

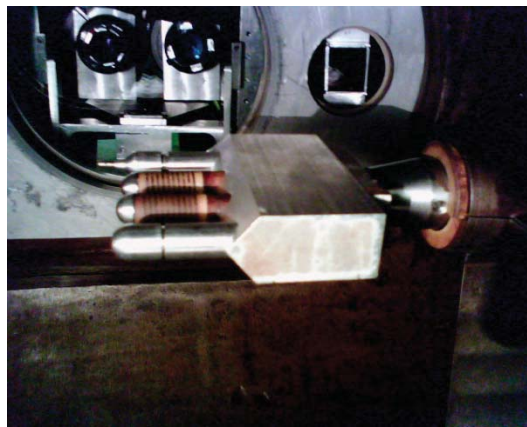


Рис. 1. Устройство для измерения параметров торможения в импульсных гиперзвуковых потоках, размещенное в рабочей части ударной трубы УТ-1М

Разработанное устройство было проградуировано, а затем испытано на ударной аэродинамической трубе УТ-1М ЦАГИ при различных давлениях и числах Маха. Так, диапазон давлений составил от 30 до 80 атмосфер. Для изменения скорости потока использовались сменные гиперзвуковые сопла, которые позволили испытать устройство при числах Маха, равных 5, 6 и 8. В настоящее время проводится обработка результатов, полученных в ходе серии экспериментов.

### Литература

1. *Иванов А.Н.* Параметры течения газа перед соплом ударной трубы УТ-1М в режиме импульсной трубы. - НТО НИО-8 ЦАГИ - 2000. - №10276

2. *Жилин Ю.В., Евсеев Н.И.* Разработка методики и средств для измерения концентрации твердой фазы в двухфазном потоке и параметров торможения потока. - НТО НИО-8 ЦАГИ - 2003. - №10693.

3. *Афанасьев В.Н., Бирюков Э.С.* Студенческий научный вестник / Измерение параметров торможения в гиперзвуковом высокоэнтальпийном потоке. - Т. 10, ч. 3 - М.: 2010.

4. *Бирюков Э.С.* Тарировка модели для измерения параметров торможения в импульсных гиперзвуковых потоках / Сб. тр. Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов Будущее машиностроения России. М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.

5. *Гвоздева Л.Г., Жилин Ю.В.* Пьезоэлектрический датчик давления. - ПТЭ. - 1977.

6. *В.Я. Боровой, Ю.Ю. Колочинский.* Труды ЦАГИ // «Поверхностные термодары – средство исследования теплообмена на моделях в аэродинамических трубах периодического действия». Выпуск 2340, Москва, 1987.

## УДК 621.01

### **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ПРОСТРАНСТВЕ МЕХАНОСБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Эдуард Валерьевич Харитонов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Г.Н. Мельников,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Цель – повышение эффективности проектных решений при технологической подготовке производства, разработке проектов технологического перевооружения, а также при проектировании новых цехов серийного производства.

Предмет исследования: Процесс синтеза функционально-пространственной структуры механообрабатывающих цехов серийного производства.

Задачи исследования:

1. Анализ основных подходов при формировании компоновочных и планировочных решений серийного производства;

2. Анализ существующих методик синтеза и моделей технологической системы производства и их недостатки;

3. Анализ метода функционального и пространственного структурирования технологической системы производства на основе анализа взаимосвязей оборудования.

Рассмотренная комплексная модель и методика синтеза оптимальных компоновочно-планировочных решений цехов позволяет одновременно решать

задачи выявления технологически однородных групп изделий и размещения оборудования для их изготовления в пространстве цеха с использованием вычислительной техники.

Использование минимума мощности грузопотока в качестве критерия оптимизации планировочных решений и применение генетических алгоритмов можно обеспечить в пространстве цеха концентрацию оборудования для производства технологически однородных изделий.

Рассмотрен новый метод анализа технологических взаимосвязей оборудования для формирования состава участков и закрепления за ними изготавливаемых групп деталей, основанный на оптимизации линейной последовательности размещения станков по минимуму условной мощности грузопотока.

Для моделирования размещения оборудования при решении задачи синтеза планировочных решений цеха целесообразно использовать сначала треугольную решетку, без учета последовательности выполнения операций, а затем – прямоугольную, с учетом данной последовательности.

Использование предложенной методики оптимизации компоновочно-планировочных решений при создании цехов с поддетальной специализацией участков обеспечивает возможность более широкого применения групповой обработки и значительное сокращение длительности производственного цикла изготовления изделий.

Использование программного обеспечения, основанного на рассмотренной модели и методике, позволит сократить трудоемкость технологического проектирования, а также качественно повысить уровень принимаемых решений.

### Литература

1. *Лобуз В.В.* Формирование технологически ориентированных структур оборудования в пространстве цеха: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. / В.В. Лобуз – 2008, 170 с.
2. *Мельников Г.Н.* Проектирование механосборочных цехов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко; ред. А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. *Митрофанов С.П.* Научная организация машиностроительного производства / С.П. Митрофанов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Машиностроение, 1976.- 712 с.
4. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении // Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
5. *Иванова М.В.* Нейросетевой метод оптимизации планировок технологического оборудования в машиностроении: дисс. канд. техн. наук: 05.02.08: защищена 13.12.00./ Иванова Марина Валерьевна. – Уфа, 2000. – 240 с. – Библиогр.: с.232–238.



**Секция №4**  
**Метрология и взаимозаменяемость**



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ АЛГОРИТМОВ НА ТОЧНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ**

Арина Дмитриевна Лиморенко

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Шачнев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Статистические методы контроля широко применяются и являются обязательными для сертификации технологического процесса и производства. Часть этих статистических методов стандартизованы группой стандартов ГОСТ Р 50779, который включает в себя несколько подгрупп. Если рассматривать ту подгруппу стандартов, которая регламентирует регулирование технологических процессов, то можно обратить внимание на тот факт, что все они предполагают использование выборки для определения величины регулирования. При этом величина регулирования определяется по среднему значению выборки. Анализ такого подхода показывает, что такие методы могут корректно работать тогда, когда рассеивание, например,  $6\sigma$  существенно меньше допуска  $T$ . Т.е. допуск  $T$  должен превышать, например,  $8\sigma$ , имея в виду необходимость установления контрольных границ. Т.о. анализ показывает, что мгновенное рассеивание относительно среднего  $\sigma_{\text{мгн}} \leq 0,1T$  (при этом регулирование предполагает, что существенной является систематическая величина).

Поэтому существенная часть технологического процесса не попадает под эти методы регулирования. При этом необходимо учитывать, в том числе и скорость изменения среднего и иногда сложность закона изменения среднего, которая проявляется в зависимости от объема выборки. Поэтому необходимо ввести прогнозирование в величину управления. В докладе предлагается алгоритмизированная методика анализа технологических процессов, которая позволяет найти оптимальный (т.е. минимальный) объем выборки и при этом учесть возможность изменения среднего путем введения соответствующих коэффициентов в алгоритм регулирования. При этом в докладе рассматриваются несколько алгоритмов различной структуры, и показано, какие элементы структуры существенно могут повысить эффективность регулирования. Проведенные исследования на моделях позволяют выявить связи эффективности регулирования с объемом выборки и параметрами алгоритма регулирования. При этом в качестве критерия оптимальности при регулировании выбрано отношение дисперсий процессов до регулирования и после регулирования. Рассмотренное программное обеспечение может использоваться на практике для выбора алгоритмов и их параметров и объема выборки.

УДК 004.67

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО БИЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ

Рахим Суфьянович Нахушев

*Студент 4 курса,  
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.М. Ростовцев,  
старший преподаватель кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Лабораторная работа №17 по курсу ТИКП и АС предназначена для построения АЧХ радиального биения вала на базе визуального отсчета данных. Лабораторный стенд состоит из токарного станка, с установленной в трехкулачковом патроне деталью цилиндрической формы, радиальное биение которой и предстоит измерить, индуктивной отсчетно-измерительной системы, датчик которой расположен в суппорте станка. Сигнал с датчика передается на отсчетно-измерительный блок, где преобразуется в отклонение стрелки отсчетного микроамперметра. Разность между максимальным и минимальным отклонениями, измеренными на различных частотах вращения, служит мерой действительного радиального биения. Динамическая погрешность определяется как разность действительного значения полученного при механическом вращении патрона и при ручном его вращении. Так как отклоняющая система отсчетного микроамперметра обладает существенной инертностью, это приводит к существенной не линейности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), что вносит большой вклад в погрешность измерения и практически сводит к нулю достоверность полученных данных, особенно на больших частотах вращения.

Для устранения этого явления использован высокопроизводительный микроконтроллер (МК) семейства AVR Atmega8 фирмы ATMEL. Микроконтроллеры AVR это семейство 8-и битных RISC микроконтроллеров с производительностью 20 млн. операций в секунду.

Выбор именно этого микроконтроллера обусловлен наличием в его архитектуре аналого-цифрового преобразователя (АЦП) кроме того микроконтроллер питается безопасным электрическим напряжением постоянного тока в диапазоне от 3 до 6 В.

Микроконтроллер выполняет следующие функции:

- преобразует аналоговый сигнал в цифровой
- сохраняет данные в оперативной памяти
- высчитывает экстремальные их значения
- усредняет полученные значения
- выводит на дисплей

**Выводы:**

1. Отпала необходимость в визуальном отсчете по шкале выходного микроамперметра отсчетно-измерительного блока системы.
  2. Существенно расширен диапазон частот вращения измеряемой детали.
  3. Выявлено, что АЧХ практически не зависит от частоты вращения детали.
  4. Созданы объективные предпосылки для дальнейшего совершенствования лабораторной работы с помощью персонального компьютера.
- Данная разработка может быть положена в основу микроконтроллерной обработки сигнала при контроле параметров шероховатости поверхности.

**УДК 620.19**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФЕКТА НАПЫЛЕНИЯ ХРОМА  
НА СТЕКЛЕ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ  
МИКРОСКОПИИ**

Антони Борисович Сырицкий

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

*Научный руководитель: А.С. Комишин,  
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Метрология и  
взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Перед началом исследований была поставлена задача проанализировать возможности сканирующего зондового микроскопа НТК «Умка-02Е» в области обнаружения и изучения дефектов на поверхности проводящих материалов. Предметом исследования был выбран образец напыления хрома на подложку из стекла. Измерение топографии поверхности проводились по методу постоянного тока с помощью кусанного платино-иридиевого зонда. При сканировании поверхности использовались следующие параметры:

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| • Размер скана               | 0,995x0,995 мкм                                      |
| • Разрешение скана           | 512x512 точек  |
| • Параметры туннельного тока | $U_{tun} = 0,27 \text{ В}; I_{tun} = 0,2 \text{ нА}$ |

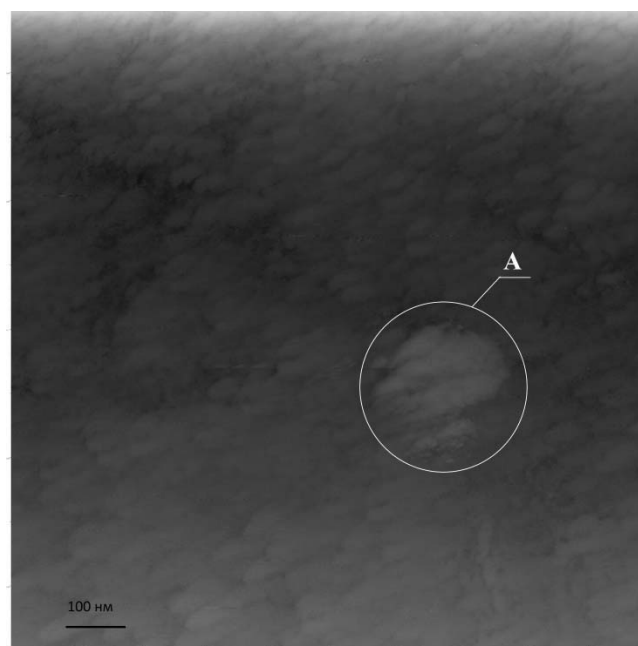


Рис.1. Полученный скан 1.  
А - область с предполагаемым дефектом

На полученном изображении поверхности можно отметить область А, выделяющуюся своим рельефом на фоне остальной поверхности. Было предположено, что это поверхностный микродефект напыления. Для подтверждения этого были проведены исследования с помощью стандартных инструментов программного обеспечения микроскопа, что позволило измерить ряд параметров топографии поверхности, связанных с наличием дефекта (действующее значение профиля поверхности и прочие). Кроме этого в зависимости от области применения данной поверхности необходима оценка годности участка с данным дефектом. Главными показателями при этом являются длина, ширина, высота и площадь дефекта.

Также для оценки свойств топографии поверхности микродефекта было предложено использовать 3D визуализацию его поверхности. Программное обеспечение сканирующего туннельного микроскопа НТК «Умка-02Е» позволяет провести 3D визуализацию поверхности различными способами. Методы были проанализированы и выбран наиболее предпочтительный для данного типа исследований.

Были рассмотрены варианты применения напыления хрома в области нанотрибологии, смежных с ней областях и при создании металлорежущего инструмента, в частности режущих пластин для металлообработки. Сопоставлены достоинства и недостатки напыления хрома, как альтернатива применению кубического нитрида бора (эльбора), оценены параметры режимов резания, при которых представляется возможным и целесообразным использование этой альтернативы. С точки зрения нанометрологии была освещена проблема необходимости оценки погрешностей, самой существенной из которых представляется погрешность, связанная с качеством заготовки зонда, при помощи которого производилось сканирование.

Опираясь на приведенные выше результаты исследований, был сделан вывод о том, что сканирующий туннельный микроскоп является подходящим инструментом в качестве прибора контроля качества напылений проводящих

металлов. С его помощью возможно получение изображений исследуемой поверхности с высоким разрешением и их обработка, причем это возможно как в режиме 2D отображения информации о топологии поверхности, так и в режиме 3D модели. По результатам анализа полученных с помощью сканирующего туннельного микроскопа данных в зависимости от требований к поверхности была подтверждена возможность проведения оценки годности исследуемого образца, а также возможность установления возможных причин возникновения дефекта, опираясь на данные, полученные при изучении трехмерной модели.

### Литература

1. *Миронов В.К.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. - М.: Техносфера, - 2004.
2. *Неволин В.Л.* Зондовые нанотехнологии в электронике. - М.: Техносфера, - 2006.
3. *Карташев В. А., Карташев В. В.* Исследование движения иглы туннельного микроскопа относительно поверхности // Нано- и микросистемная техника. - 2008. - №6. -С. 13-19.
4. *Золотаревский В.С.* Механические свойства металлов. - М.: МИСИС, 1998.
5. *Вульф А.М.* Резание металлов. - М.: Машиностроение, 1973.
6. *Резников А.Н.* Теплофизика резания. - М.: Машиностроение, 1969.
7. *Грановский Г.И.* Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985.

**УДК 621.3.087.252**

## ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТРОБОСКОП

Булат Ильсурович Хасанов

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

*Научный руководитель: М.И. Киселёв,  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Метрология и  
взаимозаменяемость»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Прецизионные стробоскопы необходимы для изучения быстропротекающих процессов: например, вращения вала редуктора или колебаний конструктивных элементов спускового регулятора часового механизма. Благодаря стробоскопическому эффекту устраняется избыточная информация и визуализируется недоступная из-за естественной инертности зрительного восприятия “остановившаяся” картина высокоскоростного периодического (колебательного или вращательного) процесса. При этом открывается возможность наблюдения поведения объекта в окрестности определенной фазы на заданной частоте стробирования.

Стробоскоп состоит из 3 функциональных блоков: генератора импульсов, усилителя и источника света.

Для реализации стробоскопического эффекта необходимо реализовать источник света, испускающий импульсы требуемой длительности и частоты повторения.

Источник света должен:

1. обладать низкой инерционностью, т.е. мог за минимальное время достичь максимума яркости и силы света и погаснуть (иметь минимальную длительность вспышки);

2. работать в большом диапазоне частот;

3. иметь высокую стабильность параметров, большой срок службы;

4. иметь спектр излучения, благоприятный для фото-, видеосъемки.

Светодиоды достаточно хорошо соответствуют вышеизложенным требованиям. Они имеют инерционность порядка нескольких десятков нс и более (для примера, у газоразрядных ламп порядка мкс и более) и высокую стабильность, поэтому в качестве источника света выбираем их.

Низкая инерционность необходима для обеспечения малого размытия картины. Пусть линейная скорость объекта  $V$ , длительность вспышки  $\tau$ , тогда за время вспышки объект сдвинется на величину  $s = V \cdot \tau$ . При наблюдении за вращением вала диаметром  $d$  с частотой  $f$  [об/мин] и при помощи оптической системы с увеличением  $\Gamma$  скорость изображения  $V = \pi f d \Gamma / 60$  [м/с]. Откуда  $\tau = 60 \cdot s / \pi f d \Gamma$  [с].

Для получения четкой картины необходимо, чтобы допускаемое размытие  $\Delta \geq s$ . Т.е. длительность вспышки должна быть  $\tau \leq 60 \cdot \Delta / \pi f d \Gamma$ .

Для данной работы был выбран светодиод Luxeon LXHL-W3S мощностью 3Вт, силой света 180 лм, напряжением питания 3.5 В, током 0.7 А, с углом обзора 140°.

Управление периодом и длительностью вспышки осуществляется с помощью генератора прямоугольных импульсов серии Г5. В данной работе был выбран генератор Г5-82 с длительностью импульсов  $0,1 \dots 5 \cdot 10^6$  мкс, периодом повторения импульсов  $1 \dots 9,9 \cdot 10^7$  мкс, амплитудой напряжения  $0,006 \dots 60$  В. В связи с переходом в перспективе на генератор импульсов с меньшей длительностью импульсов и меньшим амплитудным напряжением было выбрано напряжение 10 В, но при этом, так как выходное сопротивление генератора 50 Ом (т.е. максимально возможный ток  $10 \text{ В} / 500 \text{ м} = 0,2 \text{ А}$ ) возникла необходимость в установке усилителя в связи с нехваткой силы тока для светодиода. Усилитель (рис. 1) было решено сделать на биполярном СВЧ транзисторе. Режим работы усилителя - в виде последовательного ключа.

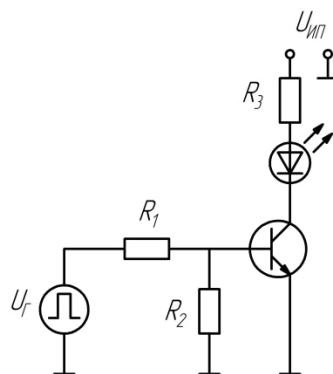


Рис. 1. Схема усилителя

**Вывод:**

Рассмотрены основные трудности в создании прецизионных стробоскопов, разработан прецизионный стробоскоп с минимальной длительностью импульсов 10 мкс, периодом повторения импульсов  $20 \dots 9,9 \cdot 10^7$  мкс (частотой стробирования  $0,01 \dots 5 \cdot 10^4$  Гц), со светодиодом силой света 180 лм, с углом обзора  $140^\circ$ .

**Литература**

1. *Браммер Ю.А.* Импульсные и цифровые устройства. Учебник. – М.: Высшая школа, 2003. – с. 68-74

**Секция №5**  
**Литейные технологии**



УДК 621.74.045

## ДЕФЕКТЫ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЛВМ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Камила Касимовна Халикова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Рыбкин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Сущность литья по выплавляемым моделям (далее ЛВМ) заключается в применении разовых, точных, неразъемных, керамических оболочковых форм, получаемых по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой модель удаляют из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением [1]. Качество получаемых отливок зависит от многих факторов: от сложности отливки, от качества формы, компонентов из которых создана эта форма, от качества связующего, от способа заливки (заливка открытым способом требует нанесения дополнительных укрепляющих слоев формы, существует риск «треска» формы при заливке, заливка с слоем огнеупорного материала в опоке требует соответствующего качества материалов), от выбранной литниково – питающей системы, от моделей, от пресс-формы (формы для изготовления выплавляемых моделей), которые должны соответствовать определенным требованиям.

В данной работе рассматривается влияние качества выплавляемых моделей на качество получаемой отливки.

Дефекты выплавляемых моделей можно подразделить на устранимые и неустраняемые. Неустраняемые дефекты возникают в результате преждевременного извлечения модели из пресс-формы, запираения в полости пресс-формы пузырьков воздуха большого объема, из-за сложности пресс-формы, несовершенства модельного состава (недостаточной прочности) и других причин. Устранимые дефекты удаляют при подготовке модели к припаиванию или приклеиванию к питателям и/или литниково – питающей системе.

Устранимые дефекты, возникающие в выплавляемых моделях можно разделить на группы в зависимости от причин, которыми они вызваны:

- Дефекты, возникающие из-за неподходящего состава и качества модельной массы для изготовления выплавляемых моделей
- Дефекты, возникающие из-за оборудования для приготовления модельной массы и для запрессовки/заливки в пресс-формы
- Дефекты, возникающие из-за недостаточной точности, несоответствия требованиям пресс-форм
- Дефекты, возникающие из-за неправильного подвода модельной массы в пресс-форму

- Дефекты, возникающие из-за несоблюдения технологического режима (время выдержки перед нанесением первого слоя суспензии, повышенный нагрев модельной массы, перегрев шприца или пресс-формы)
- Дефекты литейного характера (недоливы, неспаи)
- Дефекты, возникающие из-за «человеческого фактора» (недостаточная очистка полости пресс-формы перед заполнением, при наличии дополнительных элементов пресс-форм отсутствие их на момент заполнения пресс-формы и т.д.).

Можно сделать вывод, что все дефекты взаимосвязаны. При устранении какой-либо из возможных причин необходимо наблюдать за изменениями параметров остальных возможных причин. Необходимо следить за появлением новинок на рынке модельных составов и оборудования для их приготовления и запрессовки, и, основываясь на техническом прогрессе, модернизировать имеющееся оборудование или приобретать новое.

### Литература

1. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Специальные технологии литья. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – 367 с.
2. Лунев А.А. Точное литье в серийном производстве. // Труды конференции. –1955. - с. 25-29.
3. Лакедемонский А.В. Дефекты отливок и меры их предупреждения. – М.: Машгиз, 1962.
4. Курчман Б.С. Точное литье по выплавляемым моделям. – М.: Оборонгиз, 1958.
5. Книпп Эрвин. Пороки отливок.// Перевод с немецкого. – М.: Машгиз, 1958.
6. Репях С.И. Влияние параметров производства на размерную точность выплавляемых моделей отливок. //Литейное производство. – 2009. – №7. – с.34-36
7. Репях С.И. О механизме образования утяжин в выплавляемых моделях. // Литейное производство. – 2009. – №5. – с.37-40.

**УДК 621.74.045**

## ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Дарья Александровна Бондарчук

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Иванова,  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник ЗАО «Литаформ»*

Основную часть производственной песчано-глинистой смеси составляет отработанная смесь, прошедшая не один термический цикл. Важной задачей является выбор составов смесей, способных выдерживать высокие температуры и сохранять физические свойства при многократных заливках. Для оценки свойств

связующих и формовочных смесей на их основе при воздействии температуры существуют следующие параметры: огнеупорность, термостойкость, долговечность.

Определение термической устойчивости бентонита по ГОСТ 28177-89 является необходимым, но не достаточным для характеристики поведения связующего в процессах заливки.

С целью изучения характера изменения физико-механических и химических свойств формовочных смесей при термоциклировании и отработке методики определения долговечности в ЗАО «Литаформ» была проведена серия экспериментов по комплексной оценке свойств формовочных смесей на различных типах связующих в процессе циклического нагрева. В ходе исследований производились измерения прочности при сжатии, разрыве, сколе во влажном состоянии, прочности в зоне конденсации влаги, фиксировались влажность, уплотняемость, насыпной вес, а также сорбционная способность и водородный показатель формовочных смесей.

Таким образом, проведённые исследования по комплексной оценке свойств формовочных смесей на различных типах связующих в процессе циклического нагрева и отработка методики определения долговечности показали следующее:

1. Долговечность ПГС, определяемая по указанной в данном исследовании методике, позволяет судить об изменении свойств связующих в процессе термоциклирования.

2. Полученные значения долговечности коррелируется с определяемым по ГОСТ 28177-89 пределом прочности при сжатии формовочных смесей после термообработки связующего.

3. Указанная методика оценки долговечности ПГС может быть использована в ЗАО «Литаформ» при разработке новых составов песчано-бентонитовых формовочных смесей.

### Литература

1. *Берг П.П.* Основы учения о формовочных материалах. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1948. – С.280-288.
2. *Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Ершов М.Ю.* и др.; Под ред. А.П. Трухова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – С. 77-78.
3. ГОСТ 3594.8-77 «Глины формовочные. Метод определения долговечности»
4. *Карташов В.Г.* Изменение свойств глин и бентонитов при их нагреве / В.Г. Карташов, Я.И. Медведев, Ю.М. Погосбекян / Литейное производство. – 1986. – №7. – С.10-11

УДК 621.74.043.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМЫ МЕТАЛЛОМ

Сергей Владимирович Семенов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

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

Вентиляционная система играет важную роль в получении качественных отливок при литье под давлением. Для изучения работы вентиляционной системы было произведено исследование заполнения пресс-формы металлом на примере отливки «Крышка карбюратора» с помощью пакета программ «FLOW-3D».

За основу были взяты формулы для расчета вентиляционной системы из [1]. Процесс заполнения пресс-формы был разделен на 10 равных по времени этапов. Затем были проведены расчеты площади вентиляционных каналов и истечения газа из полости формы для каждого этапа. Был проведен анализ изменения давления газов в пресс-форме по этапам расчета и массы оставшегося газа.

Далее был смоделирован процесс заполнения пресс-формы расплавом в программе «FLOW-3D», который был так же разделен на 10 этапов. На каждом этапе фиксировалось количество и суммарная площадь перекрытых каналов. На основе этих данных был построен график зависимости площади вентиляционных каналов от времени заполнения пресс-формы расплавом и задан закон изменения эффективной площади вентиляции.

Также в работе было смоделировано заполнение полости формы без учета вентиляции и заполнение полости формы с постоянной вентиляцией. Сравнительный анализ этих моделей с полученной ранее моделью позволяет сделать вывод о том, что заданная нами вентиляционная система помогает значительно уменьшить количество газов, оставшихся в пресс-форме.

### Литература

1. Р 50-123-91. Рекомендации. Выбор оптимальных технологических режимов изготовления отливок при литье под давлением с применением стендов контроля технологических параметров. – М.: [б. и.], Госстандарт, 1992. – 40 с.
2. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. Свойства сплавов. Особенности течения. Литниковые системы. – М.: Машиностроение, 1966.

УДК 621.7-97

## СОЗДАНИЕ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ АМОРФНЫХ МИКРООТЛИВОК

Юрий Олегович Фокин, Леонид Вячеславович Пастухов

*Студенты 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: А.Ю. Коротченко<sup>(1)</sup>, С.Н. Поляков<sup>(2)</sup>,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»<sup>(1)</sup>,  
доктор технических наук<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Главным недостатком существующих методов изготовления аморфных металлов является ограниченная номенклатура получаемых изделий. В связи с этим, в настоящее время, появляется потребность в создании установки для изготовления фасонных изделий из аморфных сплавов. Предполагается, что аморфные микроотливки из современных аморфных сплавов можно получить, создавая скорости охлаждения  $10^3 - 10^4$  К/с. В основе работы такой установки могут быть использованы следующие методы:

- Охлаждение микроотливки интенсивной струей криогенной жидкости (жидкого азота).

Теплообмен между стенкой формы и охлаждающей средой вследствие турбулизации в граничном слое носит комбинированный характер и состоит из охлаждения пристеночных слоев жидкости за счет интенсивного парообразования с теплотой испарения 5.57 Дж/моль и принудительного конвективного охлаждения двухфазным потоком стенки формы. Интенсивность теплообмена при конвективном теплообмене в жидкости характеризуется числом Нуссельта:

$$\overline{Nu} = 0.664 \overline{Re}^{0.50} Pr^{0.33} \left( \frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25}$$

Оценка эффективного значения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_{эфф} = \alpha_0 \sqrt{1 + \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \right)}$$

Для пузырькового кипения жидкого азота в состоянии насыщения при свободной конвекции полагают  $\alpha_1 = 4,7 \cdot 10^4 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$

$$\alpha_0 = Nu \cdot \lambda / \delta_T = 18634 \cdot 0.14 / 0.26 \cdot 10^{-4} = 10^8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\alpha_{эфф} = 10^8 \sqrt{1 + (4.7 \cdot 10^4 / 10^8)^2} \approx 10^8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

- Охлаждение микроотливки в холодной медной изложнице (контактный теплообмен).

Для задачи контактного теплообмена большой интерес представляет вопрос формирования реальной площади касания и сближение при различных видах

деформации микронеровностей. При охлаждении методом контактного теплообмена литейная форма будет подвергаться серьезным механическим воздействием, также она должна обладать высокой теплопроводностью, поэтому форму целесообразно изготавливать из меди.

Относительная площадь контакта:

$$\eta = \frac{N}{3 \cdot S_H \cdot \sigma_T} = \frac{N}{3 \cdot 250 \cdot 258} = \frac{N}{193500}$$

$$\eta(50000) = \frac{1}{193500} \cdot 50000 = 0.25$$

Общая тепловая проводимость контакта складывается из термической проводимости мест фактического контакта и термической проводимости газового зазора:

$$\alpha_K = \alpha_C + \alpha_M = \frac{\lambda_C \cdot Y}{h_{01} + h_{02}} + 1.6 \cdot 10^4 \cdot \frac{\overline{\lambda_M}}{\psi_t \cdot \psi_k} \cdot \frac{p}{3 \cdot \sigma_B}$$
$$\alpha_K = \alpha_C + \alpha_M = \frac{3 \cdot 10^{-2} \cdot 2}{1.6 \cdot 10^{-6}} + 1.6 \cdot 10^4 \cdot \frac{400}{1.05 \cdot 0.33} \cdot \frac{200}{3 \cdot 394} =$$
$$= 37500 + 3125282 \approx 3.16 \cdot 10^6 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

### Литература

1. *А.В. Лыков*. Теплообмен. Справочник. – М.: Энергия, 1978.-480с.
2. *С.С. Кутателадзе*. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 416с.
3. *А.А. Гухман*. Применение теории подобия к исследованию процессов теплообмена. – М.: Высшая шк., 1974. – 327с.
4. *А.Н. Павленко, И.П. Стародубцева*. Переходные процессы при кипении, УДК 536.248. – Институт теплофизики СО РАН. – С. 32-41.
5. *Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н.* Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия, 1977. – 328 с. Ил.
6. *И.В. Золотухин*. Аморфные металлические материалы. / И.В. Золотухин / Соросовский образовательный журнал, 1997. – №4 – С. 73-78.

УДК 621.74.045

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Александра Андреевна Щербатых

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

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

Литье по выплавляемым моделям использовалось человеком для изготовления ювелирных изделий еще в IV тысячелетии до н.э. С тех пор и по сей день ювелирное производство является одной из наиболее перспективных отраслей литейной промышленности. Однако помимо перспектив для развития в ювелирном производстве существует немало трудностей. Одна из них – проблема вторичного сырья. Ювелиры работают с такими драгоценными металлами, как серебро, золото, платина, стоимость которых весьма высока. Кроме того, особенностью ювелирной промышленности является то, что вес литниковой системы сравним, а чаще даже превышает вес самих отливок.

Чтобы снизить потери ювелиры используют оборотный металл в последующих плавках. Но в таком случае возникает вопрос: не снизится ли качество получаемых изделий при этом? Для ответа на этот вопрос был проведен эксперимент.

Эксперимент проводился на образцах-пластинках, размеры которых близки к размерам ювелирных изделий. В качестве материала использовался серебряный сплав 925 пробы (состав Ag 92,5%, Cu 6,33%, Zn 1,17%). Для получения образцов были произведены следующие этапы:

1. Получение выплавляемых моделей будущих изделий с помощью воскового инжектора путем запрессовки воска в резиновую пресс-форму.
2. Сборка модельных блоков.
3. Создание литейных форм. Этот этап включает в себя:
  - Подготовку опок и установку модельного блока в них
  - Формовку опок в вакуумном миксере
4. Расчет необходимой массы чистого серебра и лигатуры.
5. Плавка металла и заливка его в литейную форму в индукционной машине донного разлива с наложением вакуума.
6. Размывка опоки в воде и промывка в водоструйной установке.
7. Отделение отливок от стояка и обрубка питателей.

Затем оставшуюся после первой плавки литниковую систему используют в качестве шихты для получения отливок второй плавки. Вторичное сырье от второй плавки будет служить шихтой для последующей плавки и т.д. Таким образом, проводят 5 последовательных плавков и получают 15 отливок (по 3 отливки на

каждую плавку). После этого все полученные образцы подвергаются шлифовке и полировке.

Исследование макроструктуры образцов проводились на кафедре материаловедения МГТУ им. Н.Э.Баумана с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 200 раз.

В результате были получены фотографии макроструктуры шлифов, по которым изучаем изменение качества отливок при повторных переплавках.

На полученных в ходе эксперимента образцах наблюдается такой дефект как пористость. На первых двух плавках этот дефект незначителен, однако уже на третьей плавке увеличивается количество и размер пор, что недопустимо.

Исходя из этого можно сделать вывод, что использовать вторичное сырье в качестве шихты можно только один раз. Далее рекомендуется либо добавлять чистый металл и лигатуру, либо отправлять вторичное сырье на аффинажные фабрики.

### Литература

1. *Валерио Фачченда*. Литье по выплавляемым моделям. Справочник. – Омск: изд. дом «Дедал-Пресс», 2005. – 104 с.
2. *Бреполь Э.* Теория и практика ювелирного дела. – Л.: 1982.
3. *Лившиц В.Б.* Ювелирное литье: теория и практика. Учебник для ВУЗов. – М.: изд. дом «Оникс», 2004. – 318 с.

**УДК 621.74.045**

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАЛИВНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Ольга Николаевна Битюцкая

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Рыбкин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время керамическая оболочка является универсальным способом изготовления формы при литье по выплавляемым моделям. Методики изготовления керамических оболочек хорошо изучены и широко применяются на практике.

Также, помимо этого, всем хорошо известного способа, литейную форму можно изготовить из наливной формовочной смеси. Данный способ широко используется в ювелирном и стоматологическом литье. Он позволяет значительно снизить трудоемкость, время изготовления формы, улучшить качество поверхности, заполняемость, прокрашиваемость, выбиваемость. Главным недостатком данного способа является низкий диапазон рабочих температур наливных смесей, широко



распространенных на данный момент, что резко ограничивает область их применения.

В данной работе проводится исследование по определению универсального наливного состава с последующим изготовлением отливок из нержавеющей стали.

### Литература

1. *Попилов Л.Я.* Советы заводскому технологу. Справочное пособие. Под ред. И.М. Альшица – Лениздат, 1975.
2. *И. Дошкарж* и др.; Точное литье в керамические формы. / Под ред. Я.Г. Полякова – М.: государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963.
3. *Самарай В.П., Мирза А.И., Непомнящий Д.Н., Штефан А.В.* Ортопедическая стоматология. - Журнал 4/2009.
4. *Бех Н.И., Васильев В.А., Гини Э.Ч., Петриченко А.М.* Мир художественного литья. История технологии. М.: УРСС, 1997.

**УДК 621.74.06**

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВИБРАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ РЕШЕТКАХ ПРИ ПУСКЕ**

Дмитрий Анатольевич Мельничук

*Студент 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.И. Вербицкий,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Вибрационные транспортирующие решетки входят в состав автоматических формовочных линий и используются для выбивки форм и предварительной очистки отливок от формовочной смеси. Решетки относятся к вибрационному оборудованию резонансного типа и представляют собой сварной корпус (желоб), установленный на упругих опорах, роль которых могут играть резиновые амортизаторы или стальные винтовые пружины. К боковинам желоба крепятся вибровозбудители, которые представляют собой систему валов с дебалансными дисками. Вибровозбудители приводятся во вращение электродвигателями, установленными на отдельной платформе.

Разработана математическая модель электромеханической системы «выбивная решетка - асинхронный электропривод», включающая в себя модель механической части (корпус решетки, вибровозбудители), а также электрическую часть – асинхронный электропривод. Использованы методики моделирования виброустановок и электроприводов, приведенные в работах [1, 2]. На математической модели проведено сравнение динамики движения рабочего органа

(корпуса решетки) при разных значениях жесткости опор. В качестве варьируемой величины использовался безразмерный параметр, который представляет собой отношения частоты возмущающей силы  $\omega$  ( $рад/с$ ) к собственной частоте колебаний  $\omega_i$  ( $рад/с$ ) упругих опор  $\lambda = \omega / \omega_i$ .

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что жесткость опор существенным образом влияет на продолжительность переходных процессов. При установке опор малой жесткости, что соответствует значению параметра  $\lambda \geq 7$ , длительность затухания колебаний, вызванных прохождением зоны резонанса, является значительной ( $\geq 30$  с). Длительный переходной процесс является недопустимым, поскольку во время его протекания реальное значение вибрационного воздействия на ком смеси с отливками будет отличаться от расчетного. Последнее может привести к нарушению технологических режимов выбивки (повреждению поверхностного слоя отливки, отклонению скорости вибротранспортирования от расчетной). Значительное увеличение жесткости упругих опор, которому соответствуют значению параметра  $\lambda$  в диапазоне  $\lambda = 1.5 \dots 2$ , вызывает интенсивные колебания рабочего органа при прохождении зоны резонанса. При этом, чем ближе собственная частота упругих опор  $\omega_i$  к частоте возмущающей силы  $\omega$ , тем интенсивнее возрастают колебания желоба и увеличивается длительность разгона вибровозбудителей. Следует отметить, что для электроприводов выбивных решеток наиболее тяжелым режимом работы является именно период пуска, во время которого происходит раскачка дебалансных дисков и вывод вибровозбудителей на номинальную частоту вращения.

Этот факт подтверждается тем, что токи  $I_H(A)$ , протекающие в обмотках статора и ротора электродвигателя при разгоне, отличаются на порядок от номинальных токов  $I_H(A)$ , протекающих в обмотках статора и ротора в установившемся режиме работы (т.е.  $(I_H / I_H) \approx 10$ ).

При воздействии на виброжелоб решетки ударных сил, возникающих при падении на полотно кома смеси с отливками, в конструкциях с малой жесткостью опор наблюдаются значительные возрастания амплитуд колебаний в момент приложения ударных сил и последующие длительные переходные процессы ( $\geq 30$  с).

Таким образом, увеличение жесткости опор снижает длительность переходных процессов, а также повышает устойчивость системы к внешним ударным воздействиям. Значения параметра  $\lambda$ , лежащие в диапазоне  $\lambda = 3, 5 \dots 5, 0$ , определяют оптимальные значения жесткости опор.

### Литература

1. Румянцев С.А. Динамика переходных процессов в самосинхронизирующихся вибрационных машинах и совершенствование конструкций этих машин: дисс. докт. техн. наук: 01.02.06. - Екатеринбург: УГУПС, 2003. -189 с.
2. Ещин Е.К. Электротехнические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. - Кемерово: Кузбасский гос.техн.ун-т, 2003. -247с.

**УДК 53.084.823**

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

Татьяна Игоревна Сивурова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Рыбкин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Литье под низким давлением является одним из наиболее экономичных способов литья для отливок сложной конфигурации и повышенных требований к качеству и свойствам. Обзор вариантов установок.

Автоматизация процесса – повсеместная разработка САПР. Трудности компьютерного моделирования для ЛНД заключаются в отсутствии математических моделей для всех стадий процесса данного метода и согласованной работы между специалистами этой сферы.

Рассмотрение некоторых математических моделей в их исторической хронологии таких, как математические модели процесса движения расплава, процесса образования газоусадочной пористости.

Постановка задачи. Разработка полноценных компьютерных моделей в САПР, учитывающих диагностику режимов заливки, заданные свойства расплавов и все возможные технологические этапы ЛНД.

УДК 621.74.01

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК В БЛОКЕ**

Дарья Дмитриевна Коека

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Рыбкин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Основными функциями литниково-питающих систем являются заполнение формы за расчетное время с минимальными тепловыми потерями и обеспечение рационального распределения температуры в отливке к концу заполнения формы.

В результате использования литниково-питающей системы для получения отливки типа «Крышка» на заводе на выходе получались отливки с браком в виде усадочных раковин до 12%.

Задачами данной работы являлись:

1. Разработка трехмерной модели блока и модели литниково-питающей системы.
2. Моделирование процесса заполнения формы, анализ полученных данных, выявление недостатков стандартной литниково-питающей системы применяемой на автозаводах.
3. Оптимизация стандартной литниково-питающей системы.

По полученным на заводе чертежам отливки и оснастки в программе SolidWorks была разработана 3D-модель литниково-питающей системы.

В результате проведенных расчетов в программе Flow3d были получены и проанализированы данные по следующим зависимостям:

1. Распределение температур по объему отливки в конце заливки.
2. Образование усадочных раковин.

Анализ данных показал, что общая картина распределения температур вполне удовлетворительна (почти во всем объеме отливки температура в пределах 1770-1800К, что выше температуры солидуса – 1693К), а наиболее крупные усадочные раковины расположены в верхней части блока (образование брака до 12%).

Соответственно, данная литниковая система справляется со своими функциями не полностью и требует доработки за счет изменения размеров питателей.

Исходя из расчета элементов литниково-питающей системы по тепловой теории были получены новые размеры стояка и питателей, но анализ новых данных в программе Flow3d показал, что данная литниковая система не может использоваться на производстве, т.к. почти во всем объеме отливки температура ниже температуры солидуса, кроме того, по всему блоку образованы усадочные раковины (100% брака).

Было предложено увеличить размеры питателя уже существующей литниково-питающей системы. Во всем объеме отливок температура в пределах 1700-1800К (выше температуры солидуса), усадочных раковин нет. Соответственно, данная литниково-питающая система полностью подходит для использования в производстве.

Оптимизация литниковой системы за счет уменьшения диаметра стояка позволила получить 100% качественные отливки и сэкономить до 30% металла.

### **Литература**

1. Инженерная монография «Литье по выплавляемым моделям» под ред. Шкленника Я.И. и Озерова В.А. – М.: Машиностроение, 1971. - 436с.
2. Расчет литниковых систем для отливок из стали. Методические указания к практической работе для студентов IV курса специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов» дневной формы обучения. /Сост. Машенко А.Ф., Щекин А.В. — Хабаровск: Хабар. Гос. Техн. Ун-т, 1998.
3. SolidWorks. Практическое руководство. Прохоренко В.П.
4. Flow3d. Методические указания.

**Секция №6**  
**Оборудование и технологии обработки давлением**

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТРУБОГИБОЧНЫЙ ПРЕСС-АВТОМАТ С УСТРОЙСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ И РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ ТРУБ**

Илья Юрьевич Марухин, Евгения Андреевна Гурьянова

*Студенты 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Езжесв,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Целью проекта является разработка высокопроизводительного автомата для изготовления W-образных полотенцесушителей с присоединительной резьбой на концах трубы.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведен обзор конструкций трубогибочных станков
- разработана новая технология гибки W-образного полотенцесушителя
- выполнено моделирование процесса в программном комплексе Deform
- разработаны чертежи общих видов всех узлов и механизмов автомата
- в формате 3D разработаны основные виды автомата и анимация его работы

Современные полотенцесушители являются отопительными приборами и элементами декора и находят широкое применение при строительстве нового и реконструкции старого жилья. В связи с все возрастающим объемом жилищного строительства увеличивается и спрос на полотенцесушители. Поэтому актуальными являются вопросы производительности и снижения себестоимости при их производстве. В процессе проведенного обзора автоматов по изготовлению W-образных полотенцесушителей с одновременной нарезкой на них присоединительной резьбы не обнаружено.

Чтобы синхронизировать работу боковых гидроцилиндров, предложена система мониторинга, диагностики и управления. Для разрабатываемого гидравлического пресс-автомата разработана модель в программном комплексе ПА9 на основе гидросхемы машины. В результате получены эталонные графики скорости цилиндров, по которым можно судить о правильности настройки синхронной работы приводов, а так же о наличии потерь в гидросистеме.

Проект выполнен в формате чертежей 3D, что дает наглядное представление о конструкции всех основных узлов и механизмов. Кроме того выполнена анимация работы автомата, которая позволяет наблюдать все движения механизмов в процессе гибки полотенцесушителя и нарезки резьбы на его концах.

### **Литература**

1. *Норицын И.А., Власов В.И.* Автоматизация и механизация технологических процессовковки и штамповки - М.: Машиностроение, 1967.
2. Каталог, часть 2, редукторы и мотор-редукторы червячные - СПб, 1998.

3. *Спиваковский А.О., Дьячков В.К.* Транспортирующие машины. / Учеб. пособие для вузов, 3-е изд. - 1983. - 487с.
4. *Марутов В.А., Павловский С.А.* Гидроцилиндры. Конструкции и расчёт, М.: Машиностроение, 1966.
5. *Езжев А.С.* Расчёт гидропривода КШМ ; Методические указания домашнего задания по курсу Гидропривод КШМ, - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2008.
6. Пакет учебных программ для ЭВМ: Методические указания по дисциплинам «Детали машин» и «Прикладная механика». Часть 1 / Сост. Пахалюк В.И., Зуева Л.В.– Севастополь: СевГТУ, 2000 – 30с.
7. *Дунаев П.Ф.* Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для техн. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов.– М.: Высш. шк., 2000. – 447с.
8. *Киркач Н.Ф.* Расчет и проектирование деталей машин: Учеб. пособие для техн. вузов / Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян.– Харьков: Основа, 1991. – 276с.
9. *Решетов Д.Н.* Детали машин / Д.Н. Решетов.– М.: Машиностроение, 1989. – 496с.
10. *Кузьмин А.В.* Курсовое проектирование деталей машин: Справочное пособие. Часть 1 / А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик, В.Ф. Калачев и др. – Мн.: Выш. шк., 1982. – 208с.
11. *Готовцев А.А.* Проектирование цепных передач: Справочник / А.А. Готовцев, Г.Б. Столбин, И.П. Котенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 376с.
12. *Чернавский С.А.* Проектирование механических передач: Учеб. - справ. пособие для вузов / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 560с.
13. *Иванов М.Н.* Детали машин: Учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / М.Н. Иванов. – М.: Высш. шк., 1991. – 383с.
14. *Живов Л.И., Овчинников А.Г. Складчиков Е.Н.* Кузнечно-штамповочное оборудование. - М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана - 2006.

**УДК 621.735**

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ С ОТВЕРСТИЕМ В ДОННОЙ ЧАСТИ ВЫТЯЖКОЙ-ОТБОРТОВКОЙ**

Рамиль Альбертович Мурасов<sup>(1)</sup>, Константин Сергеевич Левушкин<sup>(2)</sup>

*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 1 курса<sup>(2)</sup>,  
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»,  
Ульяновский государственный технический университет*



В промышленности существует ряд деталей, имеющих коробчатую в плане квадратную форму с фланцем и отверстием в донной части, изготавливаемые методами обработки металлов давлением.

Эти требования по экономическим причинам следует выполнять при минимальном количестве технологических операций.

Традиционно такие детали изготавливают из плоской заготовки с последующей пробивкой отверстия требуемой формы и размеров, что сопровождается большим отходом.

Совмещение операций вытяжки и отбортовки используется в настоящее время только при производстве осесимметричных деталей. Вместе с тем для производства транспортных средств, оснащения автоматизированных складов в машиностроении и автомобилестроении прослеживается необходимость изготовления деталей коробчатой формы с отверстием в донной части. Примером применения подобной формы являются светоотражатели фар, фитинговые элементы кузова, а в складском хозяйстве – коробчатые прокладки под стяжные болты, основания распорок и многие другие.

В целях ускорения научно-технического прогресса большое значение имеет изыскание новых эффективных методов формообразования коробчатых деталей для повышения эффективности производства и качества получаемых изделий. В этом плане теоретические разработки, идеи, повышение возможностей существующих способов имеют особое значение.

Таким образом, разработка научно обоснованных технических решений и совершенствование действующих технологий рассматриваемых изделий из листового материала вытяжкой-отбортовкой, позволяющие пластическим формоизменением обеспечивать максимальное снижение расхода материала и повышения производительности труда, приобретает особую актуальность.

Надежность и эффективность операций вытяжки и отбортовки плоской заготовки с предварительно пробитым отверстием при изготовлении коробчатых деталей с фланцем обеспечиваются правильным выбором параметров технологии и геометрии вытяжного инструмента. Однако широкий круг вопросов, связанных с созданием единой инженерной теории совмещенного процесса вытяжки – отбортовки для рассматриваемых деталей и с отысканием условий рационального ведения процессов вытяжки, не решен.

Исследования, разработка и внедрение, совершенствование технологических процессов вытяжки и отбортовки способствует решению указанных задач.

В соответствии с выбранными направлениями исследования проведена оценка современного состояния теории формообразования известных в отечественной и зарубежной практике технологий изготовления деталей коробчатой формы с отверстием в донной части по критериям рационального расхода металла и точности изделия за счет применения оптимальных форм заготовок и металлосберегающего раскроя.

За последние годы много проведено исследований и создано изобретений, направленных на экономию металла при изготовлении изделий вытяжными операциями. В трудах этих ученых разработаны и усовершенствованы методы анализа процессов пластического формоизменения, даны примеры их применения к анализу процессов обработки металлов давлением.

Все материалы представляют научный интерес, но их использование в практических задачах по разработке технологий весьма ограничено, т. к. исследования проводились в узком диапазоне изменения параметров процесса

формоизменения, отсутствуют методики расчета и рекомендации по выбору оптимальной геометрии заготовки, рациональных технологических схем и режимов деформирования при вытяжке-отбортовке.

Информационный материал, анализ существующих технологий изготовления коробчатых в плане квадратных деталей с отверстием в донной части и фланцем массового производства промышленных предприятий г. Ульяновска: ОАО «УАЗ», ОАО «УМЗ», ОАО «Утес», ООО «БАУ Мотор Корпорэйшн» и других показали, что их целесообразно изготавливать совмещенной операцией вытяжкой - отбортовкой, позволяющей на 13 – 15% снизить норму расхода металла. При этом наибольший эффект в экономии можно достичь при использовании способа раскрытия ленты на круглые заготовки с фасками в направлении образования фестонов. Этот способ компенсирует влияние анизотропии и потери металла на фестонообразование.

Таким образом, совмещение вытяжки и отбортовки позволяет получить рассматриваемые изделия за один переход в одном формоизменяющем штампе, снизить себестоимость штампованных деталей при обеспечении качества и повысить производительность труда.

## **УДК 621.7**

### **ЗАДАЧА УМЕНЬШЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАДИУСА ЗОН СГИБА ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВ АВИАЦИОННОГО СПЛАВА В95пчАМ**

Валерия Владимировна Марковцева

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.И. Филимонов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Возросшие требования к современным летательным аппаратам в отношении прочности, жесткости, надежности, долговечности, весовой отдачи элементов конструкций вызывают необходимость применения профилей, получаемых методом стесненного изгиба из листовых заготовок высокопрочных сплавов. Важной характеристикой готовых изделий – гнутых профилей, является величина радиуса зон сгиба, напрямую влияющая на жесткость самих профилей и, как результат, жесткость получаемых конструкций.

Общепризнанным является факт ограничения получаемого радиуса зон сгиба гнутых профилей из данного сплава до  $2s$  (где  $s$  – толщина материала) по действующим техническим рекомендациям Т.Р.1.4.1780-87. Однако, до настоящего времени остается актуальной проблема снижения величины радиуса зон сгиба и получение при этом бездефектных профилей повышенной жесткости.

Целью данной работы явилось исследование величины прогиба профиля в зависимости от значения радиуса сгиба, повышение жесткости гнутых профилей из сплава В95пчАМ.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Смоделировать процесс изготовления стрингерного профиля из сплава В95пчАМ с помощью программного продукта Ansys LS-DYNA.

2. Применить на практике полученные теоретические результаты.

Для оценки возможности получения стрингерного профиля с радиусом сгиба  $1,5s$  в роликах из материала В95пчАМ проводилось моделирование процесса с помощью программного продукта Ansys LS-Dyna.

При моделировании необходимо установить зависимость величины прогиба профиля от значений радиуса и прикладываемого усилия. Для определения требуемых параметров была спроектирована модель гнутого профиля (рис. 1), один конец которого жестко закреплен. На свободный конец прикладывается усилие (50Н, 100Н, 200Н, 400Н и 800Н). Значения радиусов составляли от  $1s$  до  $5s$  (где  $s$  – толщина материала). В нашем эксперименте  $s=1,5$  мм. Эксперимент проводился для каждого значения радиуса и усилия.

С увеличением радиуса и прикладываемого усилия значение прогиба увеличивается. Так, при усилии 100Н разница значений прогиба при  $R=1s$  и  $R=5s$  составляет более 15%. Теоретически, положительный эффект при этом – снижение на 15% массы конструкции, изготовленной из гнутых профилей такого вида.

На предприятии ОАО «Ульяновский НИАТ» освоена технология производства авиационных профилей из алюминиевого сплава В95пчАМ методом стесненного изгиба, с радиусом сгиба, равным  $1,5s$  и утолщением зон сгиба до 10%.

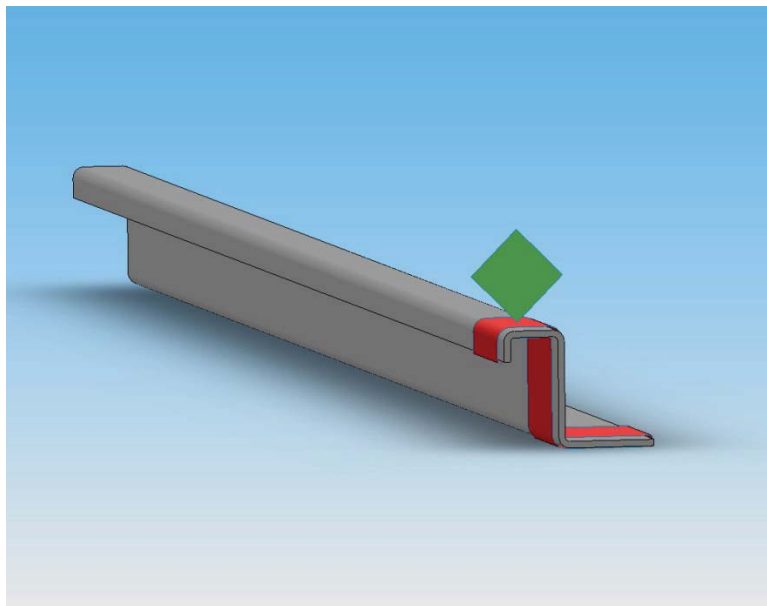


Рис. 1. Модель профиля «шпангоут» при исследовании величины прогиба

Проведенные комплексные исследования и испытания профилей из авиационного сплава В95пчАМ позволили сделать следующие выводы:

1. Геометрическая точность по сечению профилей соответствует предъявленным техническим требованиям к таким изделиям;

2. Нарушений поверхностного плакированного слоя не наблюдается.

3. Механические и коррозионные свойства профилей находятся в пределах требований ОСТ 1.90125-83 и ОСТ 1.90246-76.

Профили, полученные методом стесненного изгиба, допускают критические напряжения при испытаниях на местную и общую потерю устойчивости на 8 - 12 % больше, чем профили, полученные обычной гибкой, за счет уменьшения внутреннего радиуса и увеличения толщины материала в зоне сгиба.

### Литература

1. *Фридляндер И.Н.* Металловедение алюминия и его сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 352 с.
2. *Марковцев В.А., Филимонов В.И., Проскуряков Г.В.* Выбор конструктивных параметров правильного устройства. / *Авиационная промышленность.* – 1988. – №9. – С. 32-35.
3. *Марковцев В. А., Филимонов В. И.* Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 244 с.
4. *Беляев А. И., Бочвар О. С., Буйнов Н. Н.* Металловедение алюминия и его сплавов: Справ. изд. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 280 с.
5. *Лысов М.И., Сосов Н.В.* Формообразование деталей гибкой. – М.: Машиностроение, 2001. – 388 с.

УДК 621.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНОВЫХ КОЛЕЦ

Артем Игоревич Алимов

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Евсюков,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Одними из важнейших деталей в двигателестроении являются кольца газотурбинных двигателей (ГТД), служащие, в основном, соединительными элементами. Кольца ГТД являются особо ответственными деталями, т.к. выход хотя бы одного кольца из строя может привести к поломке всего двигателя, т.е. аварийной ситуации.

Деталь «Кольцо» изготавливается из двухфазного титанового деформируемого сплава ВТ-6 (Ti-6Al-4V), который обладает высокими прочностными и жаропрочными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и хорошей технологичностью.



Рис. 1. Модель детали  
«Кольцо»

Деталь «Кольцо» изготавливается из двухфазного титанового деформируемого сплава ВТ-6 (Ti-6Al-4V), который обладает высокими прочностными и жаропрочными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и хорошей технологичностью.

Существующая технология изготовления детали «Кольцо» имеет ряд недостатков, в частности, одним из недостатков являются низкие показатели механических свойств и их нестабильность, что может быть связано с особенностями микроструктуры, получаемой в процессе термомеханической обработки.

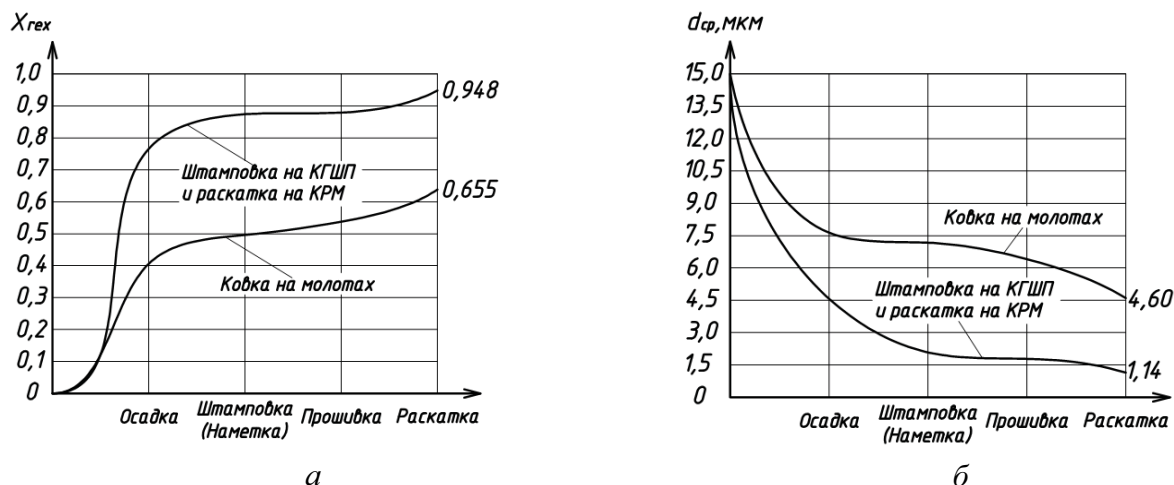


Рис. 2. Сравнительные графики изменения объемной доли глобулярной структуры (а) и среднего размера зерна  $\alpha$ -фазы по переходам (б)

Моделирование проводилось в программном комплексе Deform 3D.

Для исследования эволюции микроструктуры использовалась модель глобуляризации титанового сплава ВТ6 по Джонсону-Мейлу-Аврами-Колмогорову, полученная в работе [1].

На рис. 2 показаны графики изменения объемной доли глобулярной структуры и среднего размера зерна  $\alpha$ -фазы по переходам. Видно, что предложенный процесс позволяет получать поковки с требуемой микроструктурой.

К сожалению, в данное время не существует математических моделей динамической, статической и метадинамической рекристаллизации многих сплавов, в том числе титановых, а также стандартных методик для их получения. Кроме того, кривые упрочнения многих сплавов содержат узкий диапазон температур, степеней деформации и скоростей деформации. Это не позволяет проводить комплексные исследования технологических процессов с целью повышения качества и долговечности получаемых поковок и разрабатывать процессы получения новых деталей.

### Литература

1. *N. V. Lopatin, O. N. Maradudina, and G. S. D'yakonov*, "Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6 Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets". - Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2011. - Vol. 52, No. 1. - 33–38.
2. *Чечулин Б.Б., Ушаков С.С.* Титановые сплавы в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1977. – 248с.

## АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Дарья Вячеславовна Барышева

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Бочаров,  
академик РАН, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии  
обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Процессы производства поковок в настоящее время все более совершенствуются. Основным направлением развития технологии является переход на штамповку в закрытых штампах. При штамповке в закрытых штампах уменьшаются отходы металла на образование заусенца, который при штамповке в открытых штампах составляет 20...30 % от веса заготовки, и уменьшением величины деформирующей силы по сравнению со штамповкой в открытых штампах. Эти преимущества позволяют снизить себестоимость поковок.

В данной работе предложено несколько технологий изготовления детали из титанового сплава. Первоначальная технология представляет собой процесс горячей объемной штамповки детали в открытых штампах. В качестве совершенствования технологии предложены способы бокового одностороннего и двустороннего выдавливания в разъемных матрицах.

Табл. 1. Сравнение результатов моделирования

№ п/п	Технология	Сила, МН	Дефекты
1	Штамповка в открытых штампах	3,9	складки
2	Одностороннее боковое выдавливание	0,71	неточность формы, складки
3	Двустороннее боковое выдавливание	0,48	-

Боковое выдавливание имеет ряд преимуществ по сравнению со штамповкой в открытых штампах. При выдавливании коэффициент выхода годного близок к 1,0, нет перерезания волокон при обрезке облоя, волокна принимают форму бокового

отростка. Это приводит к повышению качества изделия с точки зрения механических характеристик.

### Литература

1. *Корнеев Н.И.* Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник. – М: Машиностроение, 1971. – 232 с.
2. *Овчинников А.Г.* Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. – М: Машиностроение, 1983. – 200 с.

УДК 621.981

## ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАМКНУТОГО ПРОФИЛЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ

Эльдар Рустемович Басыров<sup>(1)</sup>, Игорь Олегович Лисин<sup>(2)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.И. Филимонов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Гнутые замкнутые профили находят применение при строительстве металлургических и других заводов, при изготовлении причальных эстакад и тумб, башен радиостанций, прожекторных вышек, строительных лесов, рам для опалубочных щитов при бетонировании, киосков, каркасов шаблонов при изготовлении приспособлений оборудования больниц и лабораторий, при строительстве понтонов, монтажных шин для торговых автоматов и т.д.

Гнутые профили замкнутого сечения изготавливают на профилировочных станках традиционным многопереходным профилированием ленты, или методом интенсивного деформирования (МИД), особенностью которого является специфическая схема формообразования и применение закрытых роликовых калибрах, что требует в 1,5...2 раза меньше переходов, чем традиционное профилирование [1]. При этом применяемое профилегибочное оборудование является сравнительно компактным и дешевым, что способствует его востребованности на сегменте рынка малого бизнеса. Вместе с тем разработка технологии производства таких профилей требует специальной схемы формообразования для минимизации числа переходов и предотвращения скрутки профиля в процессе его формообразования.

Разработка технологии предполагает решение следующих задач: выбор базового элемента профиля и оси профилирования; определение числа переходов; определение принципа формовки; разработка схемы формообразования; определение мер предотвращения дефектов профиля; выбор профилировочного

оборудования; проектирование и изготовление технологического оснащения; обработка.

В методе интенсивного деформирования принимается принцип параллельной формовки элементов профиля в отличие от традиционного профилирования, где весьма часто применяется принцип последовательной формовки, приводящий к завышенному числу переходов [2]. Следует иметь в виду, что в МИД конечные радиусы изгиба задаются практически в первом переходе.

Ось профилирования должна выбираться по критериям минимальной переформовки базового элемента и деления заготовки примерно на равные части, элементы которых имеют разные знаки углов подгибки. В МИД базирование оси профилирования обычно осуществляют по базовой поверхности нижнего формирующего ролика.

При разработке технологии производства замкнутого профиля с рифтами предварительный расчёт числа переходов следует производить после приведения конфигурации профиля к сечению профиля типовой номенклатуры.

Схема формообразования должна гарантировать равенство продольных деформаций подгибаемых полок и обеспечивать двусторонний доступ инструмента к заготовке на возможно большем числе переходов, а также точность формовки элементов профиля. Пригодность схемы формообразования следует проверять расчётом протяжённости зоны плавного перехода с целью предупреждения переформовки профиля.

Для предотвращения потери устойчивости элементов профиля необходимо осуществлять корректировку схемы формообразования в части пересмотра углов подгибки на основе соответствующих расчётов и использовать при необходимости натяг профиля, межклетьевые проводки и т. д.

### **Литература**

1. *Филимонов С.В., Филимонов В.И.* Интенсивное формообразование гнутых профилей. - Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. - 444 с.
2. *Roll Forming Handbook / Edited by J.T. Halmos.* Boca Raton: CRC Group, 2006. - 583 p.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОФРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Галина Александровна Галкина

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Н. Шубин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*



Теплообменные аппараты являются неотъемлемой частью установки для перекачки газа и повышения давления в газовой системе, а также энергетической установки. Их конструкция, габариты и тепловые характеристики в известной мере предопределяют эффективную работу всей установки, её коэффициент полезного действия.

Применительно к летательным аппаратам вопросы увеличения удельных нагрузок теплообменных аппаратов приобретает первостепенное значение. Одним из путей повышения эффективности теплообменников является использование в них гофрированных панелей, которые обеспечивают высокие теплотехнические характеристики всего аппарата.

Существуют различные по конфигурации каналов гофрированные панели (рис. 1): прямоугольного, волнообразного, треугольного, трапецидального поперечного сечения, а в плане – прямоугольные, волнообразные, со смещенными прерывистыми каналами, диффузорно - конфузорные (как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости).

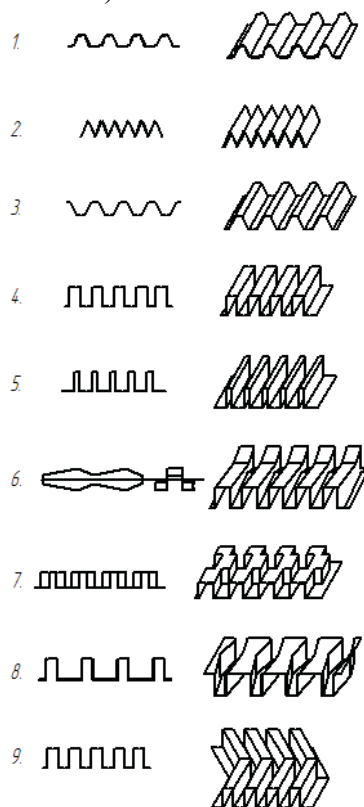


Рис. 1. Конфигурация каналов

В работе рассмотрена одна из наиболее предпочтительных конструкций гофрированных панелей в настоящее время – с малоразмерными волнообразными гофрами прямоугольного поперечного сечения и постоянной высоты (рис. 1, п.9) из тонколистового материала 12Х18Н10Т.

В работе спроектирована штамповая оснастка, смоделирован технологический процесс изготовления указанных гофрированных панелей в программном комплексе AutoForm 4.5. Возможность получения канала гофра за один переход подтверждена результатами моделирования технологического процесса.

### Литература

1. *Е.И. Семёнов.* Ковка и штамповка. Справочник. 2 том. – М: Машиностроение, 1986. - 592 с.; ил.
2. *В.П.Романовский.* Справочник по холодной штамповке. - Л: Машиностроение, 1979. - 516 с.

### АВТОМАТИЧЕСКИЕ ДВУХКЛЕТЬЕВЫЕ КОВОЧНЫЕ ВАЛЬЦЫ

Григорий Дмитриевич Григоренко

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Езжев А.С.,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В работе рассмотрены вопросы технологии изготовления заготовок и конструкции автоматических ковочных вальцев, встраиваемых в автоматическую линию производства гаечных ключей. Выполнено моделирование технологического процесса в программном комплексе QForm.

Особенностью ковочных вальцев является способ подачи заготовок от пневмотолкателя, наличие механизма кантовки заготовок между двумя клетями, а также регулировка расстояния между двумя валками.

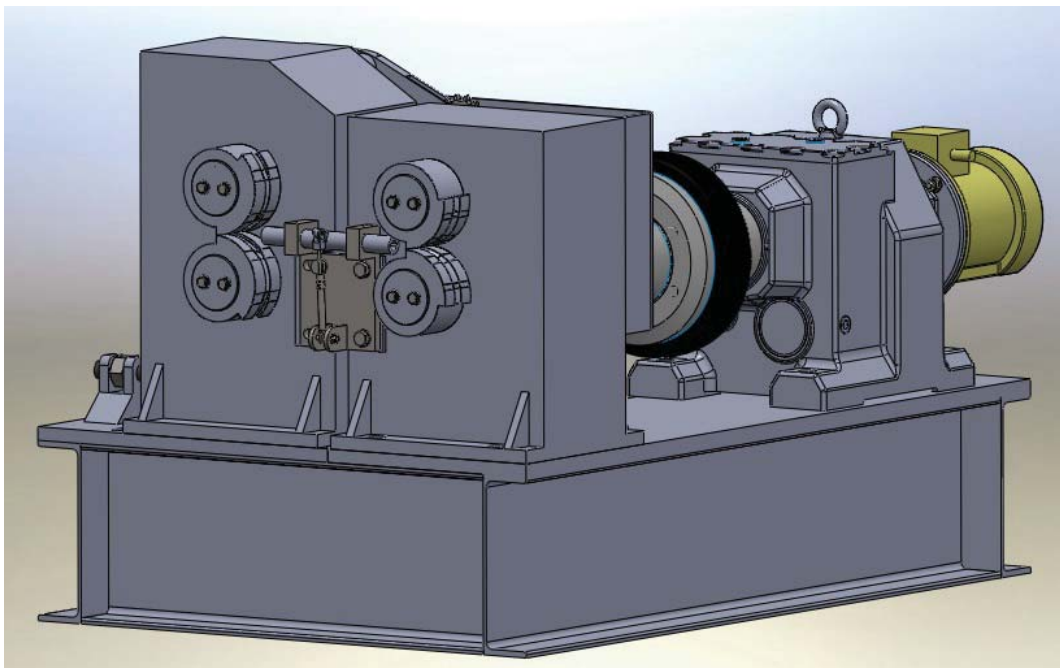


Рис. 1. Автоматические двух-клетевые ковочные вальца

УДК 621.961.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ТРУБ ПЛОСКИМ НОЖОМ

Елена Константиновна Дунда

*Магистрант 5 курса,  
кафедра «Системы пластического деформирования»,  
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»*

*Научный руководитель: Е.И. Лыжников,  
кандидат технических наук, профессор кафедры «Системы пластического  
деформирования»,  
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»*

Операции разделения труб на заготовки являются неотъемлемой частью металлообрабатывающего производства. На сегодняшний день существует множество способов резки труб, которые можно разделить на отходные и безотходные, каждый из которых характеризуется совокупностью технико-экономических показателей и имеет свою рациональную область применения.

Резка труб плоским ножом является перспективным направлением. Недостатком этого метода является момент начального внедрения ножа в трубу, что приводит к деформации отрезаемой заготовки. Другим недостатком является отделение от трубы стружки–отхода, равного толщине ножа.

Деформацию профиля заготовки можно устранить применением вспомогательной операции, предшествующей резу трубы. Она заключается в том, что вспомогательный (надрезающий) нож прорезает в верхней части трубы паз шириной, равной толщине ножа [1]. При таком способе устраняется возможность деформации сечения трубы в начальный момент внедрения ножа. Перемещение ножа на всем сечении позволяет получить качественную заготовку.

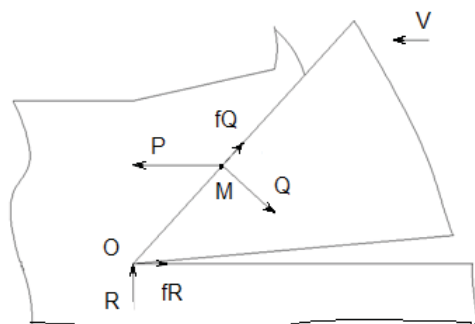


Рис. 1. Схема сил, действующих на лезвие строгального резца

Процесс прорезки паза надрезающим ножом аналогичен работе строгального резца [2]. Поэтому схема сил, действующих на надрезающий нож, будет подобна схеме сил, действующих на лезвие резца (рис. 1).

В точке М к передней поверхности лезвия резца приложены приведенная нормальная сила Q, перпендикулярная передней поверхности резца и определяющая сопротивление металла пластической деформации, и приведенная сила трения fQ, возникающая в связи с перемещением стружки по передней поверхности. В точке О

к задней поверхности лезвия резца приложены приведенная сила  $R$ , перпендикулярная направлению главного движения резца со скоростью  $V$ , и приведенная сила трения  $fR$ , направленная против направления движения резца. Сила резания  $P$  приложена в точке  $M$  к передней поверхности, по направлению действия совпадает со скоростью резания  $V$  перемещения строгального резца.

Особенностью резки трубы плоским ножом также является перемещение отхода при ходе ножа. Направление отделения отхода от заготовки зависит от конфигурации ножа и от направления нормальной составляющей силы резания  $N$  относительно касательной к средней линии кольца в поперечном сечении заготовки (рис. 2).

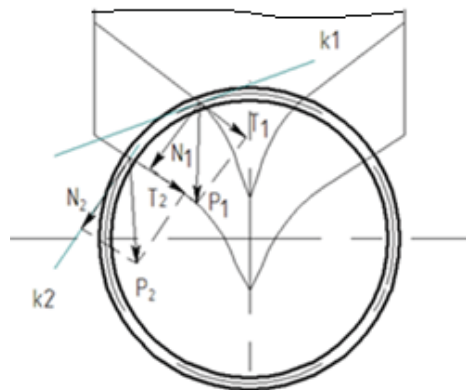


Рис. 2. Силы, действующие со стороны режущей кромки

$P$ -сила резания, приложенная к одной кромке ножа;

$N$ -нормальная составляющая силы резания, направленная перпендикулярно к плоскости ножа;

$T$  - касательная составляющая силы резания;

$k$ -касательная к средней линии кольца в поперечном сечении заготовки.

Выявленные особенности резки труб плоским ножом помогут спроектировать штамп, необходимый для проведения данной операции.

### Литература

1. *Нефедов А.П.* Конструирование и изготовление штампов. - М.: Машиностроение, 1973. - 408 с.
2. *Грановский Г.И., Грановская В.Г.* Резание металлов: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1976. - 304с.

УДК 621.77.04

## НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ПРУТКОВЫХ ЗАГОТОВОК

Роман Александрович Егоров

*Студент 3 курса,  
кафедра «Обработка материалов давлением»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьёва*

*Научный руководитель: А.С. Матвеев,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Обработка материалов давлением»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьёва*

Одно из наиболее перспективных направлений повышения прочностных и пластических свойств сталей – формирование ультрамелкозернистой или нанокристаллической структуры в материалах деформационными способами. При этом положительный эффект достигается не введением дорогостоящих легирующих компонентов, а только путём изменения структуры.

В Рыбинском государственном авиационном техническом университете имени П. А. Соловьёва (кафедра ОМД) разработан способ наноструктурирования материала прутковых заготовок путём прессования в подвижных полуматрицах [1]. Назовём его для краткости «Z – процесс».

По «Z – процессу» прессование заготовки осуществляют с помощью матрицы, образованной подвижными полуматрицами 3, 5 (рис. 1) с вертикальными каналами равного сечения 1 и 2, соединёнными промежуточными полуканалами 4 и 6, направленными в противоположные стороны от вертикальных каналов. В исходном положении полуматрицы образуют сквозной вертикальный канал, в который устанавливают заготовку 8. Затем к торцам заготовки 8 подводят осевые пуансоны 9 и 10, которые, синхронно перемещаясь навстречу друг другу с одинаковыми скоростями, первоначально позиционируют заготовку вдоль оси вертикального канала, а затем накладывают на торцы заготовки силы  $P$ .

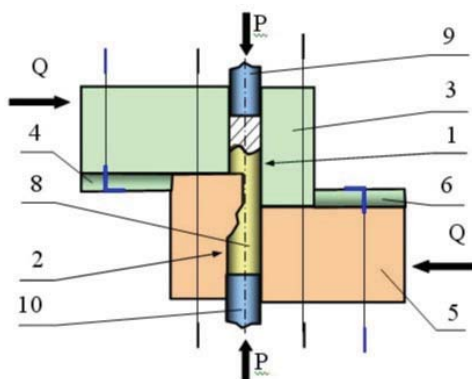


Рис. 1. Схема деформации

Одновременно с обеспечением силового контакта осевых пуансонов с торцами заготовки, к полуматрицам прикладывают силы  $Q$ , которые обеспечивают перемещение полуматриц навстречу друг другу. При относительном смещении полуматриц происходит взаимное смещение их вертикальных каналов с образованием единого промежуточного канала 7. Под действием сил  $P$  и  $Q$  в заготовке реализуется схема объемного неравномерного сжатия, достаточная для перевода материала заготовки в пластическое состояние и ее деформирования в  $Z$  – образный полуфабрикат. В результате материал обрабатываемой заготовки в очагах деформации получает однонаправленные деформации сдвига, приводящие к разориентировке зёрен и дроблению его кристаллической структуры. Для обеспечения более равномерного распределения ультрамелкозернистой или нанокристаллической структуры материала по объёму заготовки, последнюю при завершении четного этапа деформирования и перед выполнением последующего, поворачивают вокруг своей оси на некоторый угол.

В зависимости от требуемой степени измельчения зёрен материала или получения требуемой степени разориентировки межзёренных границ материала заготовки или иных задач, первый (нечетный) и второй (четный) этапы деформирования заготовки могут быть последовательно повторены  $n$ -ное число раз.

За счёт обеспечения одинаковых суммарных степеней деформаций материала по всей площади очагов пластической деформации, получаемых заготовкой за несколько этапов деформирования, обеспечивается более равномерное распределение ультрамелкозернистой или нанокристаллической структуры по радиальным сечениям заготовки.

При реализации « $Z$  – процесса» можно также использовать матрицу, с промежуточным каналом, которой образует с вертикальными каналами полуматриц внутренние накрест лежащие углы  $\alpha$  больше или меньше  $90^{\circ}$ .

Поскольку степень упрочнения металла зависит от величины угла  $\alpha$ , при чём, чем меньше этот угол, тем больше степень упрочнения металла, то промежуточный канал полуматриц 4 и 5 целесообразно располагать так, чтобы он образовывал с вертикальными каналами внутренние накрест лежащие углы  $\alpha$  меньше  $90^{\circ}$ .

Обработка прутковых или трубных заготовок по « $Z$  – процессу» позволяет интенсифицировать процесс структурообразования материала за счёт изменения направления сдвига за повторяющиеся четный и нечетный этапы деформирования заготовки.

Привлечение « $Z$  – процесса» для решения производственных задач позволяет расширить технологический арсенал средств воздействия на металл и тем самым увеличить технологические возможности обработки материалов давлением.

### Литература

1. Патент № 2 414 319 Российская Федерация МПК В21J 5/06. Способ обработки металлов давлением / В. А. Полетаев, А. С. Матвеев, Р. А. Казаков, патентообладатель ГОУ ВПО «Рыбинская государственная технологическая академия имени П. А. Соловьева». Оpubл. 20.03.2011. Бюл. №8.

УДК 621.7

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Вадим Викторович Емельянов

*Магистрант 6 курса,  
кафедра «Системы пластического деформирования»,  
Московский государственный технологический университет «Станкин»*

*Научный руководитель: К.И. Васильев,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Системы пластического  
деформирования»,  
Московский государственный технологический университет «Станкин»*

При вытяжке предельные значения растягивающих напряжений в стенке полого цилиндра ограничиваются прочностью материала в опасном сечении. Это сечение находится в переходном участке, где боковая цилиндрическая (или коническая) поверхность сопрягается с радиусным участком пуансона. Значения растягивающего напряжения в опасном сечении определяется тремя слагаемыми: напряжение от свертывания фланца, напряжение от сил трения между прижимом и свободной поверхностью фланца, напряжение от изгибающего момента на кромке матрицы, а также коэффициентом учитывающим напряжение от сил рения на кромке матрицы.

В общем виде это может быть записано:

$$\sigma_{Z \max} = (\sigma_{\text{фл.}} + \sigma_{\text{тр.пр.}} + \sigma_{\text{изгиб.м.}}) \quad (1)$$

При этом каждое из слагаемых определяется следующим образом:

$$\sigma_{\text{фл.}} = \sigma_s \cdot \ln \frac{R_0}{r}; \quad (2) \quad \sigma_{\text{тр.пр.}} = \mu \cdot \frac{Q}{\pi R t}; \quad (3) \quad \sigma_{\text{изгиб.м.}} = \sigma_s \cdot \frac{t}{4 \left( r_m + \frac{t}{2} \right)}; \quad (4)$$

Увеличение напряжения вследствие действия сил трения можно учесть, используя решение Эйлера о трении ремня по шкиву и введением соответствующего множителя  $e^{\mu \alpha}$ . В результате получаем:

$$e^{\mu \alpha} = e^{\frac{\mu \pi}{2}} = 1 + \mu \frac{\pi}{2} \approx 1 + 1,6 \mu \quad (5)$$

Обозначив это значение через коэффициент -  $\alpha$  и подставив полученное в (1) с учетом (2), (3), (4) и (5) имеем:

$$\sigma_{z \max} = \sigma_s \left( \ln \frac{R_0}{r} + \mu \cdot \frac{Q}{\pi \cdot R \cdot t \cdot \sigma_s} + \frac{t}{4 \left( r_m + \frac{t}{2} \right)} \right) \cdot \alpha \quad (6)$$

В формуле (6) величиной, оказывающей наибольшее влияние на суммарное значение растягивающего напряжения в опасном сечении, является напряжение текучести  $\sigma_s$ . В качестве способа вычисления напряжения текучести использовался графический пакет T-flex CAD. Была создана параметрическая анимационная модель вытягиваемой заготовки, а также построен анимационный график изменения напряжения текучести в зависимости от степени деформации фланца заготовки.

Обработка давлением слоистых материалов связана с различием механических свойств отдельных слоев материала, различием в коэффициентах линейного расширения слоев и с наличием промежуточной зоны между слоями, имеющей в ряде случаев пониженные механические свойства. В качестве объекта исследования рассмотрим получение заготовки из биметаллического материала методом многооперационной вытяжки. Материал заготовки биметаллический сплав – наружный слой нержавеющей стали 12X18H210T, - внутренний слой алюминиевый сплав АМгб. В процессе исследования была построена анимационная модель для каждого слоя составляющего биметаллическую заготовку в графическом пакете T-flex CAD. С помощью модели была найдена степень деформации для каждого слоя, в заданный момент процесса вытяжки, по следующей формуле:

$$e_n = \ln \frac{d_n}{D_{\text{зар}}} \quad (7)$$

где:  $d_n$  — текущая диаметральная координата точки;  
 $D_{\text{зар}}$  — положение точки до деформирования.

По результатам определенных степеней деформаций, для каждого слоя были определены напряжения текучести  $\sigma_s$  в заданный момент процесса вытяжки по аппроксимированной кривой упрочнения. Из приведенного моделирования процесса вытяжки биметаллической заготовки можно сделать вывод, что в ходе процесса формоизменения каждый слой заготовки имеет отличное друг от друга напряженно-деформированное состояние. Разница между напряженно-деформированным состоянием в слоях приводит к разрушению адгезионной связи, и развитию дефекта расслоения в области пластической деформации заготовки.

### Литература

1. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1971. – 424 с.
2. *Шофман Л.А.* Основы расчета процессов штамповки и прессования. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 350 с.
3. *Шофман Л.А.* Теория и расчеты процессов холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1964. – 420 с.



## ГОРЯЧЕЕ ОБЪЕМНОЕ ДВУХСТОРОННЕЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ПОКОВКИ ТИПА КРЕСТОВИНА

Анатолий Юрьевич Зимин

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Кривошеин,  
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Технологии обработки  
давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Крестовина предназначена для обеспечения передачи крутящего момента. При передаче крутящего момента от коробки передач или раздаточной коробки к редукторам ведущих колес автомобилей необходимо обеспечить возможность взаимного перемещения узлов с учетом колебаний силового агрегата и перемещения редукторов при движении автомобиля. Для этой цели чаще всего используют карданные шарниры, простые по конструкции, надежные и долговечные.

Было проведено исследование штамповки детали с помощью молота, одностороннего и двустороннего выдавливания. При штамповке на молоте необходимо предварительное осаживание заготовки, затем формоизменение с последующей обрезкой облоя (КИМ 0,5...0,6). Используя метод одностороннего выдавливания, отмечается значительная неравномерность в формировании отростков. Использование схемы двухстороннего выдавливания позволяет получить деталь с требуемыми физическими характеристиками, более высоким коэффициентом использования материала (КИМ 0,9...0,95), значительно снизить количество механической обработки.

Проведено исследование различных техпроцессов для штамповки на молоте, одностороннем и двустороннем выдавливании на прессе.

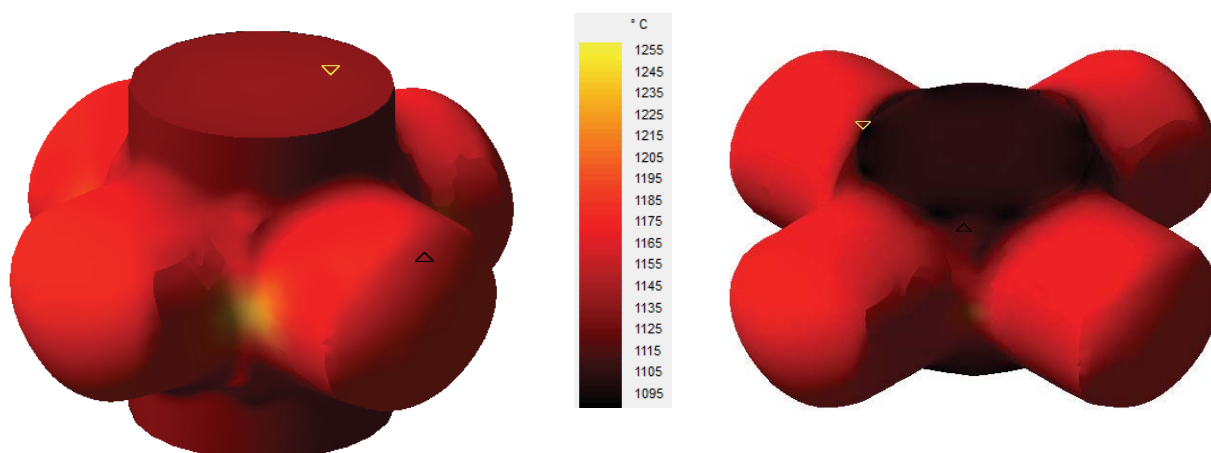


Рис. 1. Деформация двухсторонним выдавливанием

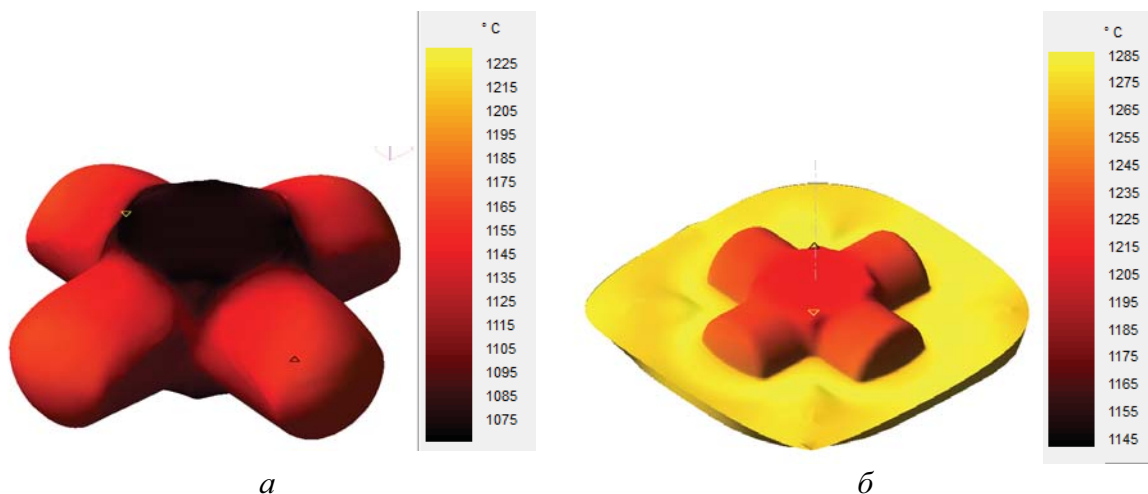


Рис. 2. Деформация односторонним выдавливанием (а) и на молоте (б)

## УЧАСТОК ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ НАКОНЕЧНИКА РУЛЕВОЙ ТЯГИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЕ

Александр Сергеевич Ипполитов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Евсюков,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии обработки  
давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Цель работы – разработать наиболее производительный и экономически эффективный технологический процесс штамповки наконечника рулевой тяги на горизонтально-ковочной машине.

В работе был проведен анализ возможных технологий изготовления, на основе которого выбран вариант штамповки заготовки «от прутка». При этом на 3-ем штамповочном переходе применяется штамповка боковым ползуном, а на 4-ом переходе поковка отрубается от прутка.

Было проведено компьютерное моделирование технологического процесса в программном комплексе DEFORM 3D. Моделирование показало, что нагрузки, возникающие в процессе штамповки, ниже, чем допускаемые усилия штамповки для ГКМ усилием 2,5 МН. В процессе моделирования были так же уточнены высаживаемые объемы металла на 1-ом и 2-ом переходах штамповки. Было выбрано расположение плоскости разъема 3-его перехода, исходя из условия, чтобы площадь поверхности контакта поковки с матрицей была больше площади поверхности контакта с пуансоном, для того, чтобы заготовка оставалась в матрице (неподвижной части штампа). Было уточнено значение зазора отрезного ручья на последнем переходе штамповки.

Для данного технологического процесса была сконструирована штамповая оснастка.

На основе горизонтально-ковочной машины ВВ1134 была спроектирована ГKM усилением 2.5 МН в программе Solid Works (рис. 1).

Основным изменением в конструкции ГKM было изменение профилей кулачков прямого и обратного хода с целью уменьшения времени выстоя зажимного ползуна. Это необходимо для исключения перегрева инструмента на 3-ем переходе штамповки и, следовательно, повышения его долговечности.

Так же с помощью программы Solid Works была проведена демонстрация работы машины во время штамповки.

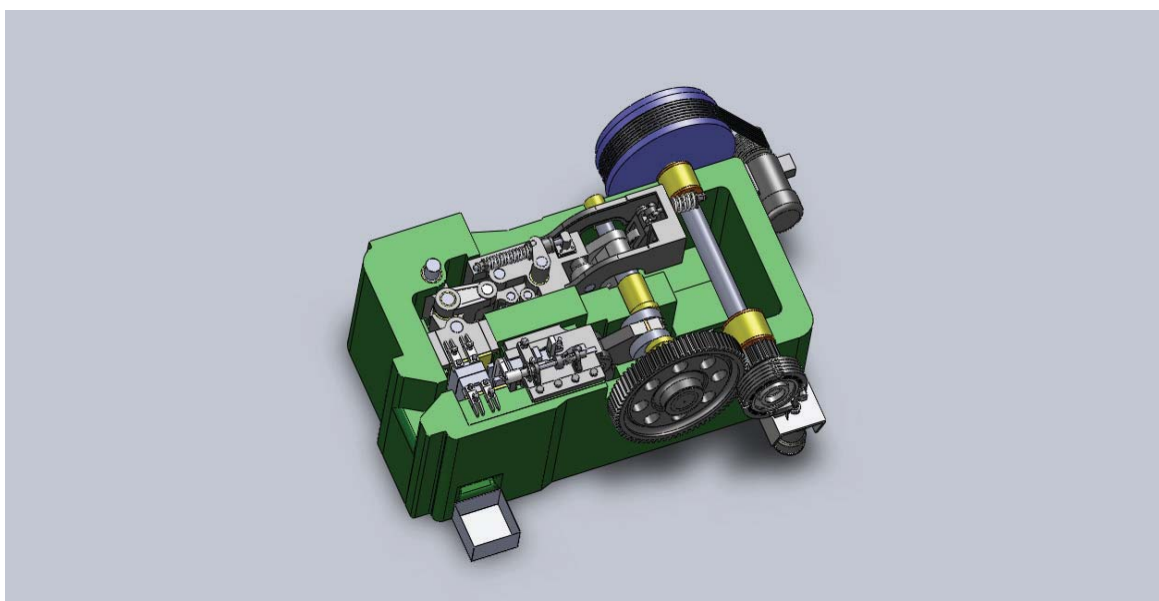


Рис.1. ГKM номинальной силой 2.5 МН

### Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Под ред. Семенова Е.И. - М.: Машиностроение, 1987. - Т.2. - 592 с.
2. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2006. - 559 с.
3. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 471с.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. Изд. 6-е, испр. – М.: Высшая школа, 2000. - 496с.

УДК 621.73.08

## **СТРАТЕГИИ И ЦЕЛИ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ШТАМПОВКИ МЕТАЛЛА В ТВЁРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ**

Иван Михайлович Койдан

*Аспирант 3 года,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Бочаров,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Применение адаптивных систем числового программного управления штамповочным комплексом позволяет производить оперативную регулировку основных параметров технологического процесса с целью получения высококачественных поковок, снижения количества брака, повышения надёжности работы штамповочного комплекса. Такие возможности системы управления особенно актуальны при изготовлении деталей методами твёрдожидкого деформирования (тиксостамповки).

Процессы тиксоштамповки позволяют получать высококачественные детали сложной геометрии за один штамповочный переход с незначительными, в сравнении с традиционной штамповкой, энергетическими затратами. Тиксотехнологии обладают рядом преимуществ, реализация которых может быть достигнута за счёт эффективности и надёжности работы системы адаптивного управления. Эффективность и надёжность работы системы управления в первую очередь основывается на правильном выборе стратегии и цели управления.

Стратегия и цель управления определяется технологией (геометрия поковки, материал заготовки, конструкция штампа, требование к соотношению твёрдой/жидкой фазы в нагретой заготовке и др.) и техническими возможностями применяемого оборудования.

Целью системы адаптивного управления является получение высоких геометрических (точность геометрии, качество поверхности) и качественных (сохранение глобулярной структуры, твёрдость, отсутствие пористости, усадочных раковин и других различных дефектов) характеристик поковки. Однако для этого необходимо иметь полное представление о технологических параметрах процесса и верно определить стратегию управления для того или иного процесса штамповки.

В тиксотехнологиях используются следующих стратегий управления:

- управление заготовкой (температура нагрева заготовки, гомогенизация свойств нагретой заготовки по сечению);
- управление оборудованием (скорость деформирования);
- управление штамповым инструментом (температура нагрева штампового инструмента);

Выбор той или иной стратегии управления зависит от материала заготовки, требуемого соотношения количества твёрдой/жидкой фазы в заготовке на момент начала деформирования, геометрии поковки, конструкции штампа, технических возможностей применяемого оборудования.

При регулировании параметров штамповки в соответствии с выбранной стратегией важно знать, какова степень взаимовлияния этих параметров. При наличии явного взаимного влияния целесообразно использование двойных или тройных стратегий управления. С одной стороны это значительно увеличит общую управляемость и гибкость процесса штамповки, с другой - усложнит сам процесс управления. В силу сложности построения математической модели и алгоритма работы, такая система управления не всегда будет оправданной, так как её усложнение может привести к увеличению вероятности возникновения ошибок.

При оценке выбранной стратегии следует принимать во внимание не только качественные характеристики полученной поковки, но и соотношение стоимость/эффективность работы, так как регулирование отдельных параметров штамповки может потребовать применения дорогостоящего и сложного оборудования.

### Литература

1. *Klaus Siegert; Günther Messmer; Jens Baur; Andreas Wolf*: Thixoschmieden von Aluminiumbauteilen; Tagungsband zur 7. Sächsischen Fachtagung Umformtechnik; 24. – 25. Oktober 2000; Chemnitz
2. Sonderforschungsbereich 289: Formgebung metallischer Werkstoffe im teilerstarren Zustand und deren Eigenschaften; RWTH Aachen; Arbeits- und Ergebnisbericht 2002/2003/2004
3. *Meßmer, G.*: Gestaltung von Werkzeugen für das Thixo-Schmieden von Aluminium und Messinglegierungen in automatisierten Schmiedezellen. Beiträge zur Umformtechnik Nr. 54. Frankfurt/M.: MAT-INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft, 2006. ISBN 3-88355-355-7.

УДК 53.084.823

## НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Алексей Валерьевич Кокорин

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Машины и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.И. Филимонов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и обработка металлов  
давление»,  
Ульяновский государственный технический университет.*

Достижение высокой прочности и пластичности, необходимых для создания новых перспективных конструкционных и функциональных материалов, является одной из фундаментальных проблем материаловедения.

Применительно к ультрамелкозернистым металлам и сплавам эта проблема может быть решена за счет управления их микроструктурой и характеризуется не только наличием ультрамелких зерен/субзерен, но и их формой и распределением, особой структурой границ, плотностью дислокаций и другими параметрами.

Формирование подобной структуры определяется уровнем механических свойств металлов и сплавов, существенно зависит от режимов обработки и, в первую очередь, от величин и характера приложенного давления, степени деформации, температурно-скоростных режимов нагружения.

Создание наноструктурированных металломатричных механических смесей (НММС), используя эффект сверхпластичности, невозможно без выяснения закономерностей изменения структуры в процессе интенсивной деформации. Реализация новых возможностей и развитие методов интенсивного пластического деформирования НММС с повышенными механическими свойствами весьма актуально как в научном так и в прикладном значениях.

Сотрудниками кафедры «Материаловедения и обработки металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета предложена технология получения сложнопрофильных изделий наноматериалов с использованием эффекта сверхпластичности. Эффект сверхпластичности металлов заключается в аномально больших характеристиках деформируемых металлов (относительное удлинение  $\delta \geq 1000\%$ ) и малых величин сопротивления деформированию. В настоящее время это явление изучается достаточно интенсивно, деформирование в состоянии сверхпластичности получает промышленное применение при производстве объемных деталей и оболочек из труднодеформируемых малопластичных материалов.

Суть предлагаемых решений заключается в следующем: используется механическая смесь тонкодисперсных порошковых полиморфных материалов крупностью 1..10 мкм; в состоянии свободной засыпки по технологиям порошковой металлургии, производится спекание полученной смеси (металломатричной основы),

при этом образуется пористое изделие типа «фильтр». Затем производится внедрение субмелкого наноматериала ( $10^{-4}..10^{-6}$  мкм) в пористую матрицу в виде пасты или в сухом виде с использованием мундштучного прессования или пневмовдувания. При этом создаваемая структура будет состоять из:

- а) ячеистой (заполняемой) мозаики металла размером зерна 1..10 мкм.
- б) заполняющей нанофазы с размером частиц ( $10^{-4}..10^{-6}$  мкм).

При регламентируемых температурно-скоростных условий деформирования данная механическая металломатричная структура позволит обеспечить транспортирование металла наноуровня в поровые полости металломатрицы за счет реализации интенсивного пластического деформирования по схемам обработки металлов давлением с использованием эффекта сверхпластичности.

**УДК 621.77.24**

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ П-ОБРАЗНЫХ КРОНШТЕЙНОВ ПРЕССОВАНИЕМ И ВЫДАВЛИВАНИЕМ**

Мария Юрьевна Маштакова

*Аспирант 2 года,  
кафедра «Технологии обработки материалов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Воронцов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки  
материалов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время одной из основных задач современной технологии машиностроения является повышение качества получаемых изделий. Наиболее полно эта задача реализуется при использовании процессов, основанных на холодной пластической деформации. К числу наиболее прогрессивных процессов относится холодная объемная штамповка (ХОШ).

ХОШ является высокотехнологичным процессом изготовления деталей и широко используется в мировом машиностроении. Особое место среди операций объемной штамповки занимает выдавливание. Выдавливанием получают детали различной формы и назначения, используя соответствующие способы: прямое выдавливание, обратное, комбинированное, дифференцированное и др.

В современных технологиях обработки давлением скобообразные изделия и изделия близкие к ним получают различными способами: листовой штамповкой (вырубкой, гибкой), сортовой прокаткой, прессованием и др.

Все выше названные способы имеют свои ярко выраженные недостатки. Скобообразные изделия из материала толщиной 2 мм и менее получают исключительно методами листовой штамповки или на профилегибочных станах. При этом в обоих случаях толщина образующих элементов остаётся одинаковой,

равной исходной, что резко сужает номенклатуру получаемых изделий. Получение П-образных профилей на сортопрокатных станах так же обладает рядом недостатков: большая энергоемкость процесса, требования учета неравномерности деформации при прокатке в калибрах, что не позволяет получать профиль требуемой формы без дополнительной обработки; также данным способом можно получать только длинномерные изделия. Процесс получения П-образных профилей прессованием также связан с рядом серьезных трудностей таких как повышенная энергоемкость процесса, использование специализированного оборудования, дорогих и требующих много места горизонтальных гидравлических прессов, использование специализированного инструмента для прессования асимметричных профилей.

Все выше изложенное позволяет предположить, что наиболее рациональный способ получения скобообразных изделий особенно с различным соотношением толщин образующих элементов – обратное холодное выдавливание.

Основными достоинствами способа являются: универсальность используемого оборудования, меньшая энергоемкость, возможность получения изделия с различной толщиной стенок, прямыми углами, а также данный способ, в отличие от ранее описанных, является финишным, и не требующим дальнейшей обработки изделия, что является весьма важным в современном производстве.

**УДК 621.735.043**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАВНОКАНАЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Владимир Витальевич Непомнящий

*Студент 4 курса,  
кафедра «Обработка металлов давлением»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьева*

*Научный руководитель: М.Л. Первов,  
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Обработка материалов  
давлением»,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьева*

Для изготовления паяных конструкций находит применение композиционный материал на основе припоя ВПр19. Композиционный материал получают методами гранульной металлургии: изготовление гранул основы и наполнителя их смешивание в определенных количествах, дегазация, брикетирование и прессование полосы или прутка. Получение качественного композиционного материала требует проводить прессование с высоким коэффициентом вытяжки, что ограничивает типоразмеры выпускаемых прутков и полос.



Для получения прутка или полосы нами был опробован метод равноканального углового прессования (РКУП), который в последнее время широко применяется для получения металлов и сплавов с наноструктурой. В этом случае заготовка последовательно продавливается через один или несколько каналов одинакового поперечного сечения, пересекающихся под некоторым углом, что создает возможность для их повторного деформирования.

Для проведения операции равноканального прессования нами была спроектирована и изготовлена опытная оснастка. Исследования проводили на брикетах диаметром 20мм, изготовленных из смеси гранул алюминиевого сплава 1379 и гранул алюминия марки АД0. Брикетные пропуски через матрицу при различных температурах и определяли влияние количества проходов на распределение гранул и на прочность брикета. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе фирмы Nikon EPIPHOT 200. Были определены температурные режимы деформации и количество проходов необходимых для получения брикета композиционного материала с прочностью на уровне прессованной полосы с коэффициентом вытяжки более 8. Металлографические исследования показали, что гранулы технического чистого алюминия АД0 с меньшим сопротивлением деформированию, деформируются в большей степени чем гранулы 1379 и образуют каркасную структуру. В результате этого повышается прочность брикета при давлениях брикетирования значительно ниже, чем для гранул сплава 1379. Наполнитель в количестве менее 10% образует небольшие включения среди гранул основы и каркаса, из гранул наполнителя не образуется, а с увеличением количества наполнителя он распределяется равномерно по сечению брикета, образуя каркасную структуру.

Таким образом, был получен композиционный материал по своим свойствам не уступающий композиционному материалу после прессования с высоким коэффициентом вытяжки.

### Литература

1. *Первов М.Л., Конкевич В.Ю.* Пути повышения пластичности эвтектических сплавов алюминия / Кузнечно-штамповочное производство. - 2006. - №8. - с. 31-33
2. А.с. СССР №1413824. *Конкевич В.Ю., Волчков А.Н., Первов М.Л., Федоров В.М., Сальников В.М., Гришин В.Л., Король В.К., Качайник О.И., Чулков Е.И.*, Композиционный материал
3. *Конкевич В.Ю., Лебедев Т.И., Кирилянчик А.С., Первов М.Л.* Наследование свойств листовой структуры быстрозакристаллизованных алюминиевых сплавов деформированными полуфабрикатами. «Технология легких сплавов». - 2010. - №2. - с. 49-58
4. *Первов М.Л., Конкевич В.Ю.* Композиционный материал для наплавки поршней. «Технология легких сплавов». - №1. - 2011.

УДК 621.5

## ПОИСК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВАРИАНТА И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «АНОД»

Ирина Андреевна Панова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработка давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Деталь «анод» используют для нанесения гальванических покрытий деталей двигателей ракет. Она имеет сложную форму за счет изменения толщины и угла закручивания по длине. Материал изделия – никель с небольшим добавлением легирующих элементов (НТ2), что говорит о высоких требованиях к точности изготовления, прочности, волокнистому строению.

В настоящее время деталь получают литьем. Этот способ имеет ряд недостатков. В настоящей работе разработали способ изготовления детали «анод» с применением штамповки.

Было рассмотрено четыре варианта получения такой детали. Один из предложенных способов позволяет получить изделие практически без дефектов и с относительно небольшой силой деформирования.

Моделирование проводилось с применением современного программного комплекса QForm 3D.

В работе разработаны рекомендации по обеспечению технологического процесса. Разработана штамповая оснастка для изготовления детали типа «анод».

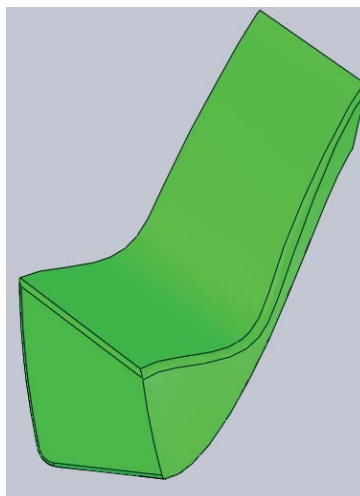


Рис.1. Деталь типа «анод»

### Литература

1. Семенов Е.И. Ковка и штамповка. Справочник. 2 том. – М: Машиностроение, 1987.
2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М: Машиностроение, 1976.

УДК 621.77

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ БОКОВИНЫ РЕНО ЛОГАН С ПОМОЩЬЮ ПК AUTOFORM

Александр Викторович Поликарпов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Изготовление кузовных деталей легковых автомобилей является наиболее сложной и обособленной частью технологии листовой штамповки. Теоретические вопросы в области кузовной штамповки решались в основном на основе личного опыта и интуиции отдельных специалистов [1, 2]. В связи с усложнением формы деталей и сокращением сроков на разработку автомобиля требуются новые методы решения подобных задач. Программный комплекс Autoform позволяет достаточно быстро проанализировать штампуемость детали и оптимизировать технологический процесс. В работе при помощи программного комплекса Autoform разработан технологический процесс штамповки боковины Рено Логан.

Для моделирования процесса штамповки в программном комплексе Autoform необходима геометрическая модель детали в формате IGES, которую нужно расположить оптимальным для вытяжки образом, обеспечив отсутствие поднутрений и, по возможности, минимальную глубину вытяжки [6].

Форма поверхности прижима задается сплайном, приближенно повторяющим контур детали. Это обеспечивает более равномерную глубину вытяжки. Элементы детали параллельные поверхности прижима удобно расположить на ней, уменьшая таким образом глубину вытяжки [3]. Далее необходимо сконфигурировать технологическую надстройку – поверхность, сопрягающую деталь с прижимом. Для этого задаются радиусы скругления пуансона и матрицы, а также граница проема матрицы.

После первых результатов моделирования были определены места возможного разрушения и образования складок. В областях возможного разрыва были увеличены радиусы, а рядом с местами образования складок установлены перетяжные пороги, коэффициенты торможения которых были подобраны

итерационным путем таким образом, чтобы большая часть детали была в безопасной зоне, не допуская при этом образования разрывов. В местах, где при исходных размерах получение детали без разрывов оказалось невозможно, в конструкцию были внесены изменения.

По результатам моделирования предложен техпроцесс вытяжки с прижимом на прессе двойного действия с применением 6 перетяжных порогов (рис. 1), коэффициенты торможения которых представлены в табл. 1. При помощи Autoform Drawbead generator был подобран профиль перетяжных порогов и определена их высота в зависимости от коэффициента торможения [3].

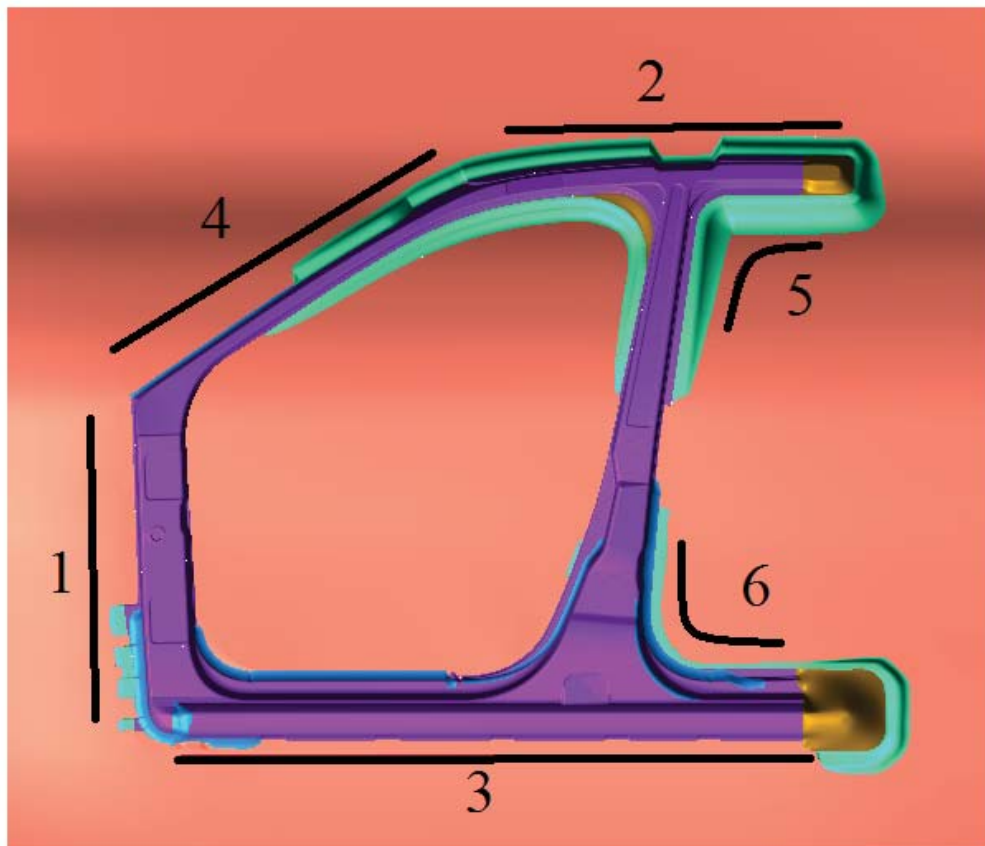


Рис. 1. Перетяжные пороги

Табл. 1. Перетяжные пороги

№ порога	Коэффициент торможения	Высота порога
1	1	4,5
2	0,9	3,83
3	0,77	3,11
4	0,35	1,37
5	0,9	3,83
6	0,9	3,83

### Литература

1. Зувев Р.Н. Шпунькин Н.Ф. Вытяжка облицовочных деталей кузова автомобиля. – М.: МГТУ «МАМИ», 2006. – 152 с.
2. Шпунькин Н.Ф. Технология кузовостроения. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 184 с.
3. Autoform 3.1 Workshop Manual. – М.: Autoform Engineering GmbH, 2002. – 564 с.
4. Бузлаев Д.В. Антонец А.Н. Калаев В.В. Ряснянский А.В. Новые методы оценки устойчивости и производительности технологических процессов. – М.: САПР и Графика №4 - 2006.
5. Бузлаев Д.В. Компьютерное моделирование листовой штамповки с применением современных материалов. – М.: САПР и Графика №6, 2004.
6. Ярыш А.В. Проектирование штамповой оснастки на ОПП «АвтоВАЗ». – М.: САПР и Графика №2, 2012.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM5.1**

Александр Геннадиевич Семькин

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Власов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время всё большее распространение получили специализированные программные комплексы (СПК) для исследования процессов обработки давлением такие как QFORM, DeFORM и др. Их применение позволяет существенно сократить время и затраты на подготовку производства.

Коленчатый вал является одной из деталей, подготовка производства которой, в настоящее время не мыслима без применения СПК.

При выполнении работы поставлена задача получить бездефектную поковку коленчатого вала.

Исследование формообразования поковки коленчатого вала целиком - трудоёмкая задача. Целесообразно принять допущение: рассматривать формообразование четвертой части поковки без учёта концевых участков. Такое допущение может быть принято, потому что на границах рассматриваемой части детали осевое течение металла мало. Кроме того это позволит сократить время расчёта приблизительно в 16 раз. Это становится существенным преимуществом ввиду того, что четвертая часть детали коленчатого вала на современном компьютере считается порядка 24 часов.

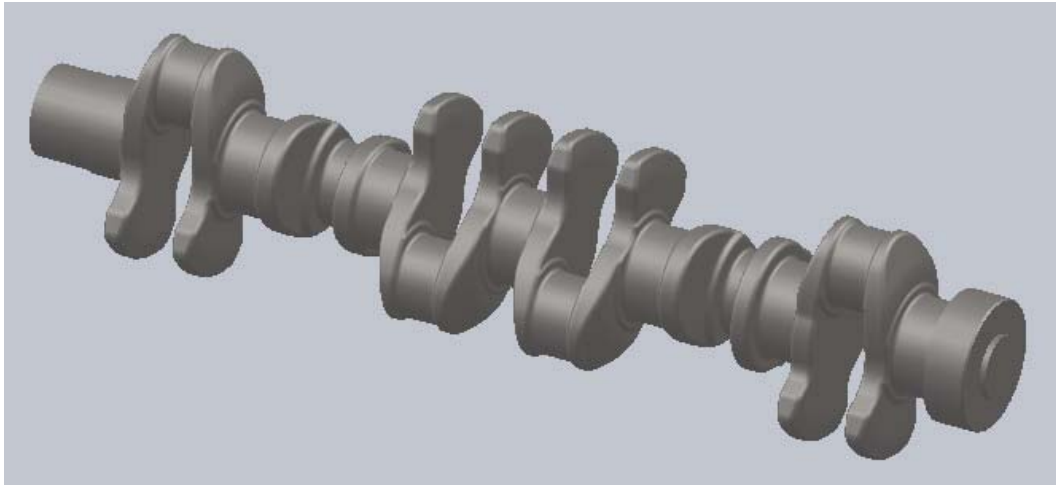


Рис. 1. 3D модель шести коленчатого вала  
длиной 1162 мм и массой 136 кг

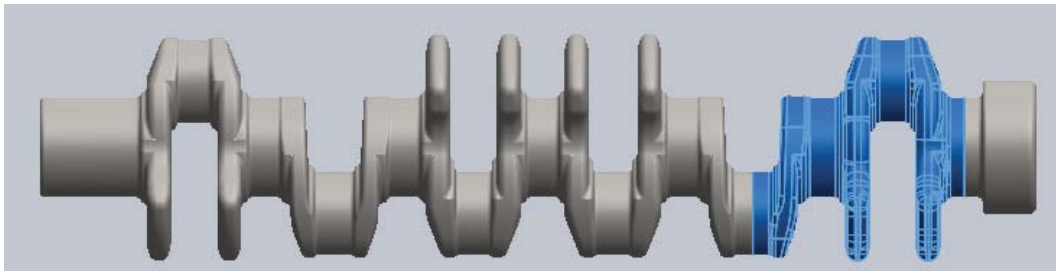


Рис. 2. Выделение четвёртой части из детали коленчатого вала

По чертежу детали коленчатого вала составлен чертеж поковки по ГОСТ 7505 – 89.

При определении поверхности разъёма штампа рассмотрены два варианта: плоская, с расположением всех кривошипов в одной плоскости и сложная, позволяющая симметрично расположить поковку в верхнем и нижнем инструментах.

Построена эпюра сечений коленчатого вала. Были рассмотрены два варианта необходимого перераспределения металла: вальцовка и поперечно – клиновая раскатка. В качестве исходной заготовки рассмотрен прокат горячекатаный круглого и квадратного поперечного сечения.

По чертежу поковки с учётом усадки и угара вследствие нагрева построены 3D модели инструмента технологических переходов штамповки (предварительного и окончательного).

Проведён сравнительный анализ результатов моделирования. Даны рекомендации по выбору исходной заготовки, заготовительному, предварительному и окончательному технологическим переходам

#### Литература

1. Семёнов Е.И. Ковка и штамповка. Справочник. 2 том. – М: Машиностроение, 1986. - 592 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ С НАПРАВЛЕННОЙ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Максим Геннадьевич Алленов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.А. Белокуров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В работе объясняется необходимость направленного волокнистого строения макроструктуры для деталей, работающих в условиях повышенного износа поверхности и высоких силовых нагрузок. Коленчатый вал (рис. 1) рассмотрен как наиболее типичный представитель этого типа деталей.

Проведен анализ существующих методов получения коленчатых валов, рассмотрены преимущества и недостатки различных технологических процессов.

Основное внимание в работе сосредоточено на процессе горячей объемной штамповки на КГШП, как наиболее рационального метода по совокупности характеристик.

В качестве заготовительных операций подробно рассмотрена вальцовка и поперечно-клиноватая прокатка.

Разработка моделей существующих технологических процессов осуществлялась с применением САД систем: Компас 3D, SolidWorks, VeraCad.

Проведение компьютерного моделирования объемной штамповки на основе метода конечных элементов с применением программы QForm 5.1 3D.

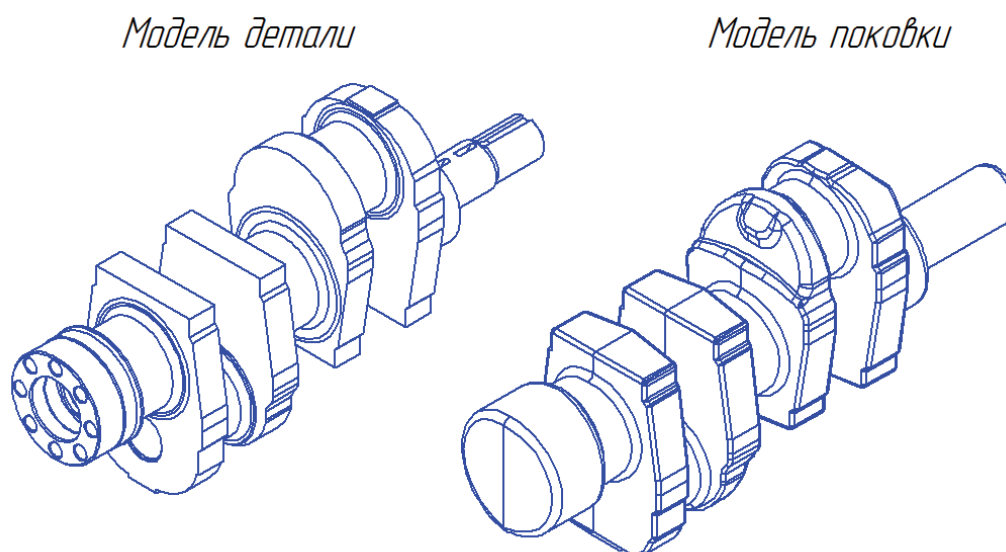


Рис. 1. Коленчатый вал Д21-1005015А3, изготавливаемый на АМО ЗИЛ

В работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих технологических процессов коленчатых валов.
2. Определить влияние направленного волокнистого строения макроструктуры на износ детали.
3. Провести расчет технологического процесса с применением моделирования процесса штамповки на ЭВМ.
4. Сравнить методы получения заготовки под последующую штамповку.

### Литература

1. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник. - 2 Т. - М: Машиностроение, 1987.
2. *Охрименко Я.М.* Технология кузнечно-штамповочного производства. - М: Машиностроение, 1976.
3. *Атрошенко А.П.* Технология горячей вальцовки. - Л: Машиностроение, 1969.
4. *Смирнов В.К.* Вальцовка заготовок под штамповку. - М: Машиностроение, 1964.
5. *Семендий В.И.* Прогрессивные технология, оборудование и автоматизация кузнечно-штамповочного производства КАМАЗа. - М: Машиностроение, 1989.
6. *Целиков А.И.* Поперечно-клиноватая прокатка в машиностроении. - М: Машиностроение, 1982.

УДК 621.833.15

### **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕССОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Алексей Михайлович Дюжев

*Студент 3 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.А. Головин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Теория механизмов и машин»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Для зубчатых передач механических прессов характерными являются передаточные отношения выше 3. типовой расчет, предлагаемый в курсе «Детали машин» [2], ориентирован на передачи с меньшим передаточным отношением.

Проектный расчет зубчатой передачи проводится с целью определения геометрических размеров передачи, обеспечивающих ее работоспособность и надежность. В качестве исходных данных такого расчета выступают нагруженность



передачи, требуемый ресурс, механические характеристики зубчатых колес и условия эксплуатации.

Нахождение геометрических размеров передачи (в частности, ее межосевого расстояния  $a_w$ ) – итеративный процесс. Он заключается в определении предварительных размеров передачи с последующими проверочными расчетами по критериям работоспособности. В случае удовлетворительного результата предварительные размеры принимаются в качестве окончательных. В противном случае, они корректируются до тех пор, пока не станут удовлетворять всем критериям работоспособности. Способ получения предварительных значений геометрических размеров передачи жестко не регламентируется. Таким образом, предварительные размеры можно задавать произвольно, однако в этом случае возможно увеличение количества итераций.

Данная работа ставит своей целью совершенствования методики проектного расчета цилиндрических зубчатых передач с большим передаточным отношением, применяемых в механических прессах, на основе замены традиционного итеративного процесса подбора размеров передачи, удовлетворяющих условиям прочности, визуальным процессом подбора выгодного распределения контактных напряжений вдоль линии зацепления. Визуальная составляющая такого метода делает понятной суть проектного расчета, снижаются требования к квалификации человека, проводящего расчет, уменьшается количество времени, уходящее на расчет, наконец, за счет понижения значений аналога контактных напряжений уменьшаются размеры проектируемой передачи.

#### Литература

1. Головин А.А., ред. Высшая пара: геометрические аналоги износа. - М.: 2008.
2. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных механических специальностей вузов. 4-е, перераб. - 1989.
3. Болотовская Т., Болотовский И., Бочаров Г. и др. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач. - Машгиз, 1962

УДК 621.983.44

#### **ВИДЫ ДЕФЕКТОВ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ: ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ К ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ.**

Сергей Александрович Карпов

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.И. Филимонов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и обработка  
металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Ротационная вытяжка – один из технологичных процессов изготовления осесимметричных полых деталей, который характерен наличием локального очага деформации, образующегося в результате воздействия давящего элемента (ролика) на материал заготовки. Реализация локализованной деформирующей нагрузки при ротационной вытяжке позволяет получать за один проход высокие степени деформации (до 80 %), что делает процесс экономически выгодным по сравнению с другими способами изготовления деталей, например штамповкой [1].

В условиях мелкосерийного производства ротационную вытяжку выполняют на токарных станках; в условиях серийного производства — на специальных давяльно-раскатных станках.

Однако, использование переоборудованных токарных станков имеет несколько недостатков, которыми являются необходимость переоборудования, низкая производительность (возможность использования только одного ролика), высокие нагрузки, не рассчитанные на токарное оборудование, дополнительный промежуточный отжиг.

Ротационной вытяжке, как интенсивной технологии, присуще дефектообразование различного порядка.

Особенностью процесса ротационной вытяжки является образование наплыва металла перед зоной деформации. Происходит при неправильном выборе профиля инструмента, либо при неправильном назначении режима подачи инструмента. Для устранения дефектообразования следует уменьшить рабочий угол ролика и подачу.

Обратными действиями – увеличением подачи и угла ролика устраняется дефект в виде увеличенного диаметра изготавливаемой детали.

Другим поверхностным дефектом является появление на поверхности изделий спиральных волн, резко ухудшающих качество поверхностей. Связано это с тем, что в случае предельного значения частоты вращения инструмент как бы перескакивает через волну металла, двигающуюся впереди давящего элемента в процессе обработки вязких пластичных материалов, вследствие чего поверхность имеет ярко выраженный волнистый характер.

На размерную точность оболочек значительное влияние оказывает внутренний зазор между заготовкой и оправкой для ротационной вытяжки. Установлено, что наилучшая размерная точность реализуется при ротационной вытяжке с минимально возможным зазором. Увеличение относительного зазора может привести к потере устойчивости [2].

Несомненно, качество получаемых ротационной вытяжкой изделий и их размерная точность существенно зависят от параметров исходной заготовки. Одним из параметров является разностенность исходной заготовки. При разностенной заготовке имеет место неравномерный процесс вытяжки и, следовательно, появление на поверхности готовой оболочки различных дефектов. Наиболее характерными из них являются появление участков волнистости и искажения поперечного сечения. Также неравномерность приводит к нарушениям сплошности материала в виде поперечных надрывов на внутренней поверхности оболочки.

Однако неудовлетворительное качество поверхности может являться следствием неудовлетворительного состояния инструмента (роликов) или оправки. Например, часто возникают забоины, задиры, раковины, отклонение от круглости и другие поверхностные дефекты.

Вопрос о влиянии режимов обработки на структуру зерен недостаточно изучен, однако известно, что зерна металла измельчаются и вытягиваются в

направлении течения. А возникновение мельчайших трещин, задигов, признаков разрывов в кристаллической решетке небезосновательно считается следствием нарушения технологии ротационной вытяжки.

### Литература

1. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка. – М.: Машиностроение, 1987. – 234 с.
2. Юдин Л.Г., Яковлев С.П. Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек. – М.: Машиностроение, 1984. – 62 с.
3. Корольков В.И. Технология и оборудование процессов ротационной вытяжки: Учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – 33 с.

## ИСПЫТАНИЯ НА СДВИГ МНОГОСЛОЙНОГО ДЕМФИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Алексей Владимирович Колесов

*Студент 5 курса,  
кафедра «Кузовостроение и обработка металла давлением»,  
Московский государственный технический университет «МАМИ»*

*Научный руководитель: С.А. Тупалин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Кузовостроение и обработка  
металла давлением»,  
Московский государственный технический университет «МАМИ»*

В настоящее время автомобилестроение развивается большими темпами и поэтому выросли требования к качеству и удобству автомобилей. Уменьшение величины вибрации и шума является одной из важных задач автомобилестроения, поскольку их наличие существенно снижает эргономические показатели транспортных средств, что отрицательно влияет на водителя и пассажиров. Обычным способом защиты от шума и вибраций является обклеивание панелей шумопоглощающими материалами, но это приводит к дополнительным затратам и к тому же увеличивает вес автомобиля. Наиболее актуальными материалами, которые решают данную задачу, являются многослойные демпфирующие листовые материалы. Данные листы имеют два стальных слоя и один полимерный находящийся между стальными. Полимерный связующий слой является демпфирующим элементом который способен поглощать шум и вибрацию. За рубежом материалы такого типа применяют в легковом автомобилестроении. Наиболее известным материалом является «Антифон».

Были проведены испытания плоских образцов из листового материала «Антифон» и его отдельных слоев на растяжение, на одноосной электромеханической машине Zwick Z-100. Целью проведенных исследований является нахождение параметров сдвиговой деформации листового материала «Антифон» и листовой стали 08кп, склеенной пленочным клеем ВК50

отечественного производства. Толщина образцов менялась в пределах от 1 до 2 мм с шагом 0,5 мм. Образцы зажимались в клиновых захватах и после чего производилось их нагружение с постоянной скоростью перемещения траверсы.

В ходе испытаний получены зависимости сдвигового смещения от напряжения при различных скоростных параметрах. Испытания на сдвиг производились при скорости перемещения траверсы 0,1; 1; 10; 100 мм/мин. Результаты испытаний представлены на рис. 1.

Как показывают экспериментальные зависимости силовые параметры процесса сдвига существенно зависят от скорости деформирования. Кроме этого на напряжения сдвиговой деформации большое влияние оказывает и величина связующего полимерного слоя.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что максимальное напряжение сдвига в зависимости от десятичного логарифма скорости будет иметь практически линейный характер.

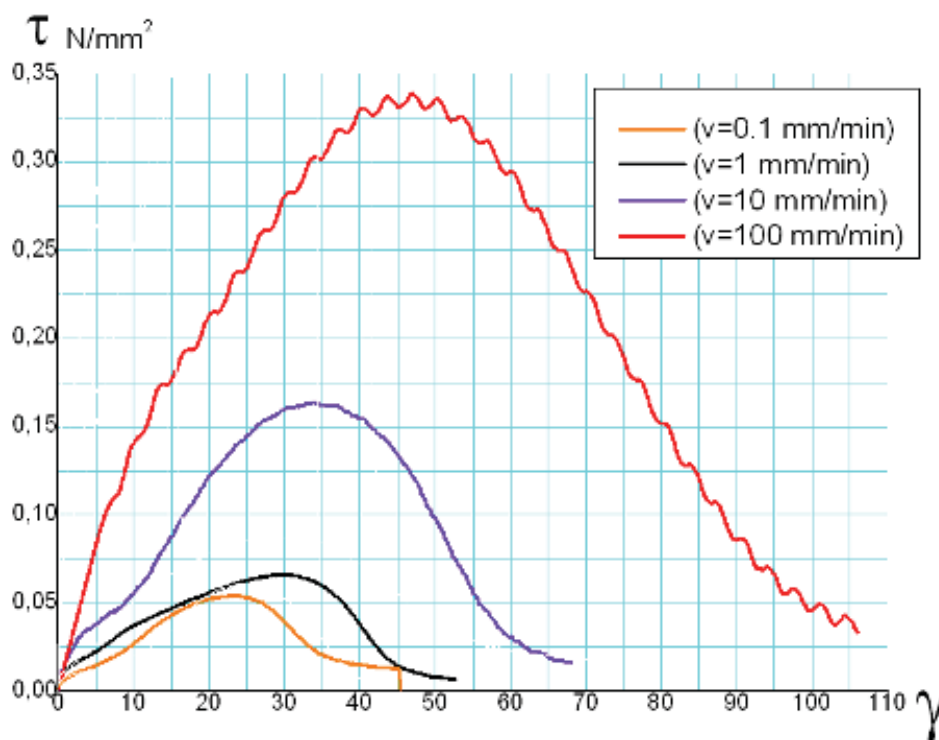


Рис. 1. Результаты испытаний антифона на сдвиг

УДК 621.73.06

## КОНСТРУКЦИЯ ШТАМПА С РАЗЪЕМНЫМИ МАТРИЦАМИ ДЛЯ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ОБОЙМА» НА КРИВОШИПНОМ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНОМ ПРЕССЕ

Надежда Николаевна Лабанова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время все больше внимания уделяется решению ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий в отраслях машиностроения. Преимущества безоблойной штамповки, проявляющиеся при замене ею облойной, следующие: повышение коэффициента использования материала на 0,1...0,25 вследствие уменьшения расхода металла на одну поковку. Но при закрытой штамповке часто возникают такие проблемы как извлечение поковки из полости штампа. Общее направление развития штамповочных процессов характеризуется созданием множества конструкций сборных блоков закрытых штампов. Особое место среди них занимают штампы с разъемными матрицами, позволяющие резко сократить технологические отходы при производстве изделий с высокоразвитой поверхностью (переходники, обоймы и др.). В данной работе представлена конструкция штампа с разъемными матрицами для штамповки детали «Обойма» (рис. 1).

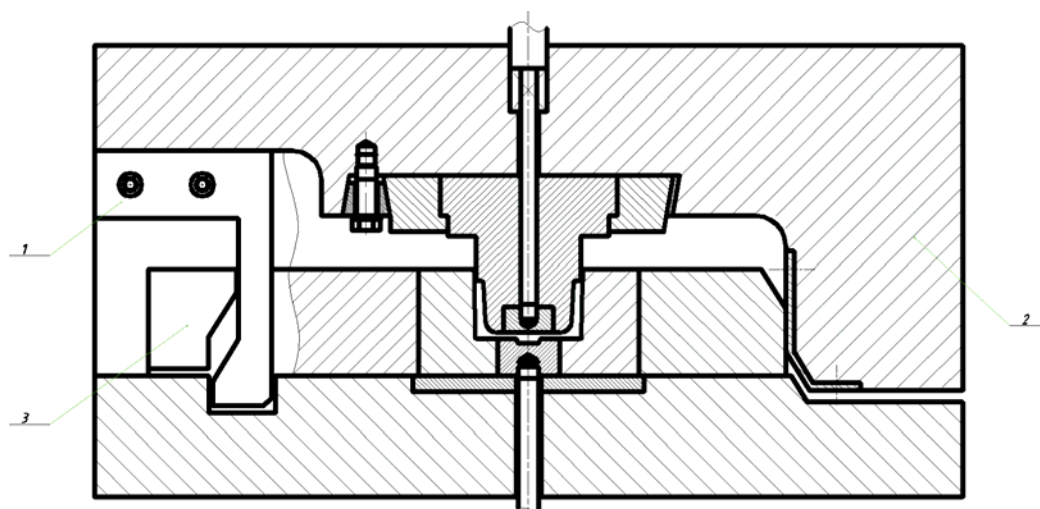


Рис. 1. Штамп с разъемными матрицами.  
При ходе ползуна вниз прямой клин 2 сжимает полуматрицы 3.  
При обратном ходе обратный клин 1 раздвигает полуматрицы

Штамп имеет сборную конструкцию, благодаря чему упрощается изготовление сменного инструмента и создаются условия для экономии дорогих инструментальных сталей. Штамп состоит из штамповых вставок, в которых располагаются ручки, и пакетов, в которых закрепляют вставки. Расчет клина на контактные напряжения и на горизонтальное перемещение производится с помощью программного комплекса AnsysWorkbench.

### Литература

1. *Зиновьев И.С., Кондратенко В.Г., Чередниченко А.В.* Методические указания к домашнему заданию по курсу «Технология горячей объемной штамповки». - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987.
2. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник. 2 том. - М.: Машиностроение, 1987.
3. *Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев М.Я.* Нагревательные устройства. - М.: Высшая школа, 1965.
4. *Бабенко В.А.* Атлас схем и типовых конструкций штампов. - М.: Машиностроение, 1982.
5. Конспект лекций по курсу: «ГОШ». 2009 – 2010 уч. год.

**УДК 621.974.063**

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БАБЫ МОЛОТА

Тамара Васильевна Милевская

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.И. Семёнов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Инструменты, основанные на ударном взаимодействии, являются, пожалуй, одним из самых древних в истории человечества. Постепенно конструкции молотов развивались и совершенствовались.

В настоящее время основным недостатком известных устройств (простой молот, молот для листовой штамповки, дизель-молот для забивки свай, штамповки деталей, работающих за счет энергии падающих частей) является кратковременное действие удара. При формообразовании детали в конце возникают высокие силы, вследствие чего часть энергии рассеивается и достаточной деформации не получается, что отрицательно сказывается на качестве получаемых изделий.

Ликвидировать указанный недостаток можно повышением коэффициента полезного действия (КПД) удара за счет увеличения времени действия удара при взаимодействии бабы молота с обрабатываемым изделием, ведущего к увеличению

степени деформации материала. Примером реализации этой идеи является патент на изобретение № 2438825, зарегистрированный 10 января 2012 года. Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что баба молота содержит полость с размещенным в ней наполнителем.

В планируемой работе предполагается заменить стандартную бабу на специальную бабу с шариками с целью повышения КПД удара. В ходе эксперимента будет варьироваться общая масса шариков, их диаметр и способ закрепления.

Задача повышения КПД удара молотов является актуальной задачей. Вместе с тем, в литературе этот вопрос освещен недостаточно. Поэтому необходимы экспериментальные и теоретические исследования процесса удара при осадке на молотах по следующим направлениям:

1. Разработка методики экспериментального исследования удара при осадке.
2. Экспериментальное исследование удара при осадке с различными параметрами удара ( $T$ ,  $v$  и т.д.) и использованием специальных устройств и приспособлений (например, пустотелая баба с наполнением).
3. Построение математической модели процесса удара при осадке и определение оптимальных параметров удара, обеспечивающих повышение КПД.
4. Определение оптимальных параметров специальных устройств, обеспечивающих повышение КПД.
5. Разработка методики компьютерного моделирования удара при осадке.
6. Проверка адекватности математической модели данным физического эксперимента.
7. Разработка на основе проведенных исследований методики проектирования технологического процесса осадки с увеличенным КПД удара.

Планируемая работа будет проводиться на лабораторном копре, расположенном на кафедре «Технологии обработки давлением» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана с использованием современной цифровой скоростной видеоаппаратуры.

В качестве модельного материала в проводимых экспериментах будет использоваться свинец. Свинец при комнатной температуре (20 °С) деформируется с одновременной рекристаллизацией, как и сталь при ковочных температурах. Кривые упрочнения различных сталей в горячем состоянии и свинца качественно почти не отличаются.

После обработки и анализа полученных результатов и разъяснения физических основ происходящего процесса будет построена математическая модель для компьютерного моделирования.

По завершении всех физических экспериментов, получении результатов моделирования и проведении сравнительной оценки будут даны рекомендации по проектированию технологического процесса осадки на молотах с увеличенным КПД удара

### Литература

1. *Атрошенко А.П., Булат Е.П.* Штамповка на молотах, фрикционных и гидравлических прессах. - Л: Машиностроение. Ленинградское отд., 1981–113с.
2. *Балуев С.А., Экарев М.С.* Совершенствование технологических процессовковки. – М: Машиностроение, 1984. – 67 с.
3. *Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н.* Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с : ил.

4. Мигачев Б.А. Деформируемость и качество в процессахковки – Екатеринбург: 1995. – 149 с.
5. Петров Л. Н., Касатонов В.Ф., Этин И.З. Ковка на молотах и гидравлических прессах. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1980. – 127 с.
6. Патент РФ № 2438825
7. Патент США № 3,088,506
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hammer>
9. <http://toolmonger.com/2007/01/24/preview-sk-dead-blow-hammers/>

## УДК 621.9-18

### ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗА СЧЕТ СОВМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ОБЖИМА, РАЗДАЧИ И ВЫТЯЖКИ

Евгения Олеговна Яковлева

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Н. Шубин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Цель работы – получение детали (рис. 1) с принятыми размерами без дефектов путем совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи.

Совмещение нескольких различных операций в одном штамповом переходе позволяет решить следующие задачи:

- повысить предельное формоизменение;
- расширить технологические возможности штамповки путем уменьшения напряжений и величин деформаций, не превышающих предельные;
- уменьшить номенклатуру штамповой оснастки и количество оборудования, необходимого для изготовления детали;
- повысить производительность труда за счет сокращения подготовительно-заключительного, вспомогательного и машинного времени;
- улучшить качество получаемых деталей.

При осуществлении операции раздачи предельный коэффициент формоизменения – 1,2, обжима – 1,4, вытяжки – 2, при совмещении этих операций – 3,5.

В работе проведены расчет и моделирование процесса изготовления детали путем совмещения операций вытяжки, обжима и раздачи, разработана штамповая оснастка для осуществления данного технологического процесса.

Моделирование показало, что процесс формоизменения идет стабильно, без образования дефектов.



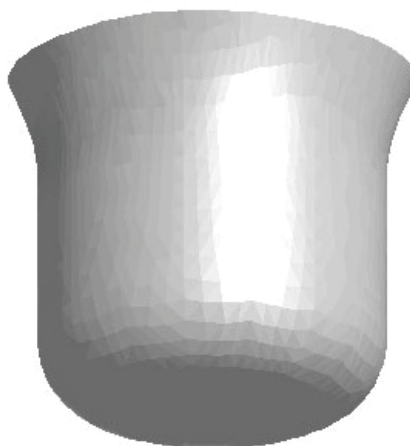


Рис. 1. Деталь

### Литература

1. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. - 516 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под ред. Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. - 496 с.
3. *Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н.* Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. – 479 с.

### **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОИСК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВАРИАНТА И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «ФЛАНЕЦ»**

Юлия Алексеевна Филатова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Технологии обработка давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработка давлением»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Детали типа «фланец» применяют как соединительный элемент труб, а так же для соединения вращающихся деталей. Фланцевые соединения позволяют быстро и удобно производить замену и ремонт основных узлов, например, трубопровода. При предъявлении к детали «фланец» требований повышенной твердости, износостойкости и прочности, назначают материал сталь 45Х.

В настоящее время деталь получают посредством трехпереходной штамповки. На основе анализа существующей технологии изготовления детали «фланец», был предложен один из возможных путей её улучшения – сокращение числа переходов.

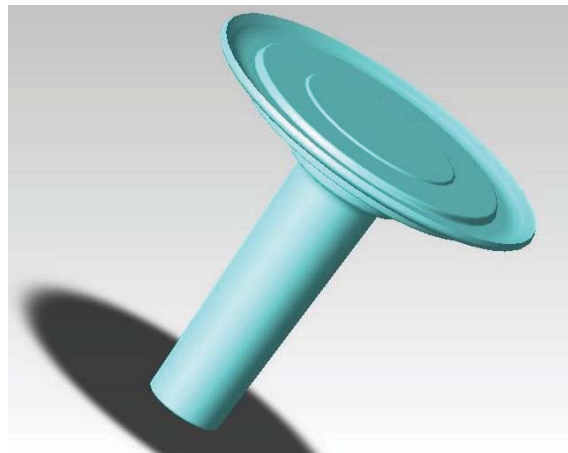


Рис. 1. Деталь типа «фланец»

Было рассмотрено четыре варианта с различными размерами заготовки и формы ручья штампа для фасонированной осадки (подсадки). Один из предложенных способов позволяет получить изделие практически без дефектов и с относительно небольшой силой деформирования.

Исследование основных операций технологического процесса проводилось с применением современного программного комплекса QForm 3D.

Разработаны рекомендации по обеспечению технологического процесса. Приведено сравнение существующей и предлагаемой технологий штамповки. Разработана штамповая оснастка для изготовления детали типа «фланец».

### Литература

1. Семенов Е.И.. Ковка и штамповка. Справочник. 2, 3 том. – М.: Машиностроение, - 1987.
2. Охрименко Я.М.. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, - 1976.
3. Зиновьев И.С., Кондратенко В.Г., Чередниченко А.В.. Методические указания к домашнему заданию по курсу «Технология горячей объемной штамповки». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987.
4. Бабенко В.А.. Атлас схем и типовых конструкций штампов. – М.: Машиностроение, 1982.
5. Теорияковки и штамповки: Учеб. Пособие для вузов /Под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1992.
6. Конспект лекций по курсу: «ГОШ». 2010 – 2011уч. год.



**Секция №7**  
**Технологии сварки и диагностики**

УДК 620.179.16

## ОЦЕНКА УГЛА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИНЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

Дмитрий Андреевич Петров

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: А.Л. Ремизов<sup>(1)</sup>, Е.М. Комов<sup>(2)</sup>,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»<sup>(1)</sup>,  
кандидат технических наук<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Рассмотрены особенности ультразвукового контроля (УЗК) стыковых сварных соединений изделий разного типа вовремя их эксплуатации. Проведено сравнение методик для определения параметров обнаруженного дефекта разными методами УЗК. Обосновано применение зеркально – дифракционного метода для выявления эксплуатационных дефектов и измерения их параметров.

Дефектоскопия сварных соединений трубопроводов разного назначения, находящихся в эксплуатации, выполняется в основном в соответствии с нормативными требованиями, разработанными для вновь изготовленных изделий (НТДс). Несмотря на разные материалы, разные условия эксплуатации, разные толщины, практически все НТДс регламентируют применение метода отражения, эхо-метода (ЭМ) контроля.

Существующая нормативно-техническая документация, регламентирующая применение УЗК при эксплуатации изделия (НТДэ), также опирается на проверенные средства ЭМ и технологию определения параметров дефекта по уровню отраженного сигнала - Аэ дБ. С точки зрения обнаружения дефекта, это оправдано, ЭМ может обнаружить эксплуатационный дефект очень малого размера. Но оценить высоту –  $h$  и протяженность  $L$ , обнаруженного дефекта, эхо метод может, только по их условным размерам –  $\Delta h$  и  $\Delta L$  [1, 2]. Это ведет к ремонту шва. Очевидно, что места ремонта, по своим качественным свойствам и напряженному состоянию существенно отличаются от работоспособности существующих швов [3]. Вообще, нужно ли было проводить ремонт и вырезать шов, сказать трудно, но необходимо, ведь это приведет к уменьшению вырезки «катушек», снижению затрат на проект производства работ (ППР), повышению эффективности работы конструкции в целом.

Из литературы известен метод УЗК, который позволяет определять тип дефекта, это дельта – метод (ДМ) [4]. Его можно применить, чтобы повысить точность измерений, а так же, за счёт расширения информационной базы метода, угол наклона трещины, и, тем самым, предварительно оценить величину остроты трещины.

Известно [2-5], что в результате трансформации волны на вертикальной отражающей поверхности поперечных волн, образуется индикатриса рассеяния, в которой центральный луч диаграммы направленности продольной волны, направлен

вдоль отражающей поверхности трещины. Это позволяет, используя прямой пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), расположенный на сварном шве, принимать данный сигнал, и, используя амплитудно-временной признак оценки сигнала, основанный на измерении не только сигнала амплитуды ( $A$ ), но времени его прохождения, оценивать с высокой точностью высоту  $h$  дефекта. Кроме того, используя разработанную нами методику анализа полученных данных, при накоплении достаточного количества статистических данных, возможно предварительно оценивать угол раскрытия трещины.

Использование для оценки дефектности амплитудного - временного, количественного и качественного признаков зеркально – дифракционного метода контроля позволяет без особого усложнения и увеличения технологических операций одними и теми же средствами определять тип, реальные размеры и опасность обнаруженного дефекта, что на порядок повышает точность измерения ослабления сечения шва. Использование для оценки параметров обнаруженного дефекта простых программных алгоритмов и математических решений, позволит провести автоматизацию процесса измерений и вычислений, что значительно повысит эффективность предлагаемого метода для проверки в больших объемах однотипных сварных соединений.

### Литература

1. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. Неразрушающий контроль: В 7 т. Под общ. Ред. В.В. Клюева. Т. 3. Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – 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.
5. *Ермолов И.Н.* Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.

**УДК 621.791.763.1**

## **ВЛИЯНИЕ ЦИНКОГО ПОКРЫТИЯ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ**

Юрий Леонидович Рябиков

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.П. Исаев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время существуют два основных направления, определяющие разработки и производство в автомобильной промышленности. С одной стороны это – уменьшение веса автомобиля, вызванное желанием снизить расход топлива и выделение вредных выхлопных газов. С другой – увеличение жесткости силового каркаса кузова в целях соответствия нормам безопасности и требованиям покупателя. Применение улучшенных высокопрочных сталей делает возможным решение этих проблем. Однако существуют проблемы, связанные со свариваемостью оцинкованных сталей данного типа:

1. Образование хрупкой мартенситной структуры в процессе сварки.
2. Узкая сварочная область качества.
3. Дефекты на поверхности и в литой зоне.

В ходе работы были изучено влияние цинкового покрытия и остатков консервационной смазки на микроструктуру сварного соединения, характер разрушения и общую прочность.

**УДК 53.084.823**

## **РАЗРАБОТКА ПИТАТЕЛЯ ДЛЯ ПОДАЧИ СМЕСИ ПОРОШКОВ В ВАКУУМЕ**

Николай Николаевич Абрамов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.М. Неровный,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

На данном этапе развития промышленности проблемы непрерывности и автоматизации процессов обработки и транспортировки порошковых материалов являются крайне важными. Роль питателей в данном случае огромна. Их точность, а также соответствие динамическим характеристикам элементарной операции оказывают большое влияние на качество множества процессов, применяемых в современном производстве.

Точность и непрерывность подачи порошков отражается на качественном выполнении таких процессов как наплавка, напыление и пайка, которые находят всё больше применений в промышленности, как при производстве новых изделий, так и при восстановлении изношенных.

При разработке питателя для подачи порошков в вакууме приходится сталкиваться с рядом проблем, накладываемых как средой, так и оборудованием. В данном случае становится невозможным использование транспортирующего газа, что резко уменьшает количество возможных конструкций. Очевидно, что единственным возможным методом подачи порошка в вакууме является гравитационный.

Проанализировав различные конструкции питателей, можно прийти к выводу, что достаточную точность и равномерность обеспечивают только пять типов: вибрационный, секторный, тарельчатый, шнековый, с вращающимся бункером. Однако необходимо учитывать и свойства дозируемых материалов. Так, для смесей порошков разной плотности плохо подходят вибрационные питатели и питатели с вращающимся бункером. Также необходимо учитывать такие свойства сыпучих материалов как угол внутреннего трения, угол естественного откоса и насыпную плотность. К тому же в вакууме ряд материалов ведёт себя несколько по-иному, чем в атмосфере газов.

Важной проблемой также является ограниченность пространства вакуумных камер, что требует уменьшения габаритов питателей. При этом система подачи порошка должна легко управляться дистанционно, так вмешательство в работу элементов, находящихся под вакуумом крайне проблематично.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка питателя, обеспечивающего равномерную и регулируемую с высокой точностью подачу порошка в вакууме является приоритетной задачей, что подтверждает патентный обзор и анализ представленных на рынке моделей.

### Литература

1. *Сакаита С.* Обработка порошков (хранение, подача, транспортировка). – Фирма «Фуросинтосангё», 1992. – 25 с.
2. *Загороднюк В.Т., Евстратов В.А., Евстратова Н.Н.* Модули шнековых питателей и винтовых конвейеров робототехнических комплексов.- монография / - Ростов-на-Дону : [б. и.], 2000. - 139 с.
4. *Першина С.В., Катыльмов А.В., Однолько В.Г., Першин В.Ф.* «Весовое дозирование зернистых материалов». – М.: Машиностроение, 2009. - 260 с. – 400 экз.
5. *Синицын Б. Н., Ерохин А. С.* Дозаторы непрерывного действия - средства автоматизации процессов дозирования. Обзорная информация. – М.: Машиностроение, 1982.



**УДК 621.7.08**

## **МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

Светлана Юрьевна Алексеева

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Магнитопорошковый метод (МП метод) неразрушающего контроля получил наибольшее распространение для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов на ранних стадиях их развития в ферромагнетиках. Он основан на обнаружении магнитных полей рассеяния над дефектами с помощью ферромагнитных частиц и регистрации индикаторного рисунка. Именно поэтому МП метод нашел широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности производстве труб для магистральных трубопроводов.

В настоящее время одной из главных проблем обеспечения качества магистральных трубопроводов является выявление расслоений металла на торцах труб. Наличие подобных дефектов снижает продолжительность их докритического подрастания в трубах и их сварных соединениях и, соответственно, увеличивает рост трещин, которые в свою очередь вызывают разрушение трубопровода.

В данной работе были исследованы и рассчитаны дефектоскопические параметры магнитного контроля (МК) труб, а также проанализирована экономическая эффективность использования различных марок сталей, применяемых в производстве. В результате проведения необходимых расчетов были установлены зависимости напряженности приложенного магнитного поля, коэрцитивной силы, а также остаточной индукции от применяемой марки стали. Кроме того, анализ дефектоскопических свойств в зависимости от химического состава материалов показал, что чем больше процент содержания углерода в стали, тем больше коэрцитивная сила (однако наличие примесей в стали уменьшает ее значение); величина остаточной индукции же снижается с увеличением содержания углерода.

Помимо дефектоскопических параметров были найдены параметры катушки и оценена экономическая эффективность МК при использовании марки стали с наибольшей напряженностью магнитного поля и наименьшей. В результате сделаны выводы о том, что при применении в производстве стали с наименьшей напряженностью приложенного магнитного поля из ряда возможных сталей стоимость контроля снижается на 13 %. Таким образом, достигается большая экономическая выгода за год, и сохраняются высокие показатели выявляемости расслоений на торцах за счет точного выбора параметров контроля.

## Литература

1. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов / практическое пособие под редакцией доктора технических наук профессора Лозовского В.Н. – М.: Научно-технический центр «Эксперт», 1995. – 220с.

**УДК 621.791**

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧОПА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРУБОПРОВОДА**

Дария Алексеевна Бисовко

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Коновалов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Одной из разновидностей ремонтных конструкций трубопроводов являются чопы. Чоп представляет собой металлическую пробку, предназначенную для заглушки отверстия в стенке трубопровода. Для обеспечения герметичности выступающая часть чопы обычно обваривается, что приводит к появлению поля остаточных напряжений в стенке трубопровода. Кроме того, установленный чоп всегда является концентратором напряжений. Указанные особенности могут привести к образованию трещин в сварном соединении и преждевременному выходу конструкции из строя. В этой связи исследования напряженного состояния стенки трубопровода в зависимости от конструкции чопы и технологии его установки являются весьма актуальными.

Исследования проводились методом компьютерного моделирования с использованием конечноэлементных программных комплексов «СВАРКА» и «РЕСУРС», разработанных на кафедре технологий сварки и диагностики МГТУ им. Н.Э.Баумана. Расчеты проводились в три этапа. Сначала моделировалась приварка чопы к стенке трубопровода для определения поля остаточных напряжений. Затем моделировалось нагружение трубопровода переменным внутренним давлением и определялось поле напряжений вблизи концентраторов. Наконец, моделировался процесс роста трещины от концентратора при эксплуатации трубопровода.

Все перечисленные расчеты проводились применительно к двум вариантам конструкций чопов – гладких цилиндрических, привариваемых в заглубленную разделку, и чопов с головкой, обвариваемых по контуру. В первом случае варьировались диаметр чопы и глубина разделки отверстия, во втором – размеры головки чопы и катет сварного шва.

Проведенные расчеты показали, что конструкция чопы оказывает существенное влияние на ресурс сварного соединения. Определены рациональные

значения конструктивных элементов чопов и параметры разделки кромок отверстия, обеспечивающие заданный ресурс сварного соединения.

### Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М.Неровного. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007.- 752 с.

**УДК 621.791.01**

## **ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА БАББИТА МАРКИ Б83**

Петр Павлович Гвоздев

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В. Коберник,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Подшипники скольжения получили широкое распространение в таких отраслях как энергомашиностроение, в качестве опор турбин. Подшипники являются ответственными изделиями, т.к. выход строя подшипника влечет за собой поломку всего агрегата. Высокие требования предъявляют к качеству поверхностного рабочего слоя из баббита. Для снижения износа, а следовательно увеличения срока службы подшипника, на его поверхность наносят антифрикционный материал, такой подшипник называется многослойным. В качестве антифрикционного материала применяют баббит марки Б83 [1].

Баббит марки Б83 состоит из 6% меди, 10...12 % сурьмы, остальное олово и относится к классу оловянистых баббитов. Основной технологией нанесения баббита на основу является – литье. Уровень литейных технологий невысок, о чем говорит имеющаяся статистика о внеплановых и аварийных выходах из строя подшипников скольжения [2]. При использовании литейных технологий (сифонная заливка, центробежное литье) для получения антифрикционного слоя, возникают следующие проблемы: ликвация легирующих элементов, прогрессирующая с увеличением толщины слоя, высокая склонность к дефектам типа раковин и пор, также из-за низких скоростей охлаждения при кристаллизации баббита образуется неблагоприятная структура [4]. Низкие скорости охлаждения приводят к чрезмерному росту гамма фазы ( $Cu_3Sn$ ) представляющую собой игло- или звездообразные кристаллы и бета фазы ( $SnSb$ ) имеющую форму многогранников, эти кристаллы являются концентраторами напряжений, ускоряя процесс усталостных разрушений, и снижают эксплуатационные свойства баббита: прочность и пластичность. Однако некоторые улучшения наблюдаются при использовании турбулентного литья. В турбулентном литье расплав перемешивается оребренным

стержнем, по данным [5] этой технологии в результате формируется структура с округлой и даже сферической формой кристаллов бета фазы и меньшими по размеру кристаллами гамма фазы, а также исключается формирование дендритной структуры, и как следствие, междендритной ликвации. Однако данная технология не решает вопрос с низкой прочностью сцепления слоя баббита с основой, для повышения прочности сцепления известно применение таких технологических приемов, как фрезерование торцевых или спиральных канавок типа ласточкин хвост и т.п.

В качестве альтернативной технологии получения слоя, используют технологии плазменного напыления и наплавки. Как показали исследования [3], структура плазменно-напыленных покрытий существенно отличается от структуры литых покрытий. Частицы порошка, разогретые в плазме, быстро охлаждаются на поверхности напыления, и структура получается на 10...15% более дисперсной, чем у литого баббита.

Как следует из результатов [3], плазменные покрытия баббитом обеспечивают повышение демпфирующей способности, и чем больше толщина покрытия, тем выше эта способность. Это существенно с точки зрения снижения виброактивности узлов трения скольжения. При сравнении уровней демпфирования покрытий в области малых амплитуд деформации, при которых в основном работают узлы трения, показано, что демпфирующая способность плазменного покрытия баббита марки Б83 выше, чем у литого покрытия. Также при этом удалось получить наплавку баббита с прочностью сцепления со сталью до 40 МПа, что превосходит литейные показатели.

Использование технологий наплавки позволяет, получить слой со стабильными физико-механическими свойствами и снизить припуск на механическую обработку.

### Литература

1. Людаговский А.В., Скотин Д.В. Анализ работоспособности моторно-осевого подшипника в узлах колесно-моторного блока тепловоза ТЭ10, изготовленных из бронзы БР04Ц4С17 и баббита Б16. - Наука и техника транспорта, 2009. - №2. - С.8-10.
2. Михайлова М.А. Анализ изнашивания дейдвудных подшипников в зависимости от физико-механических характеристик материала вкладышей и условий эксплуатации судна. - Вестник АГТУ, 2005. - №2 (25). - С. 135-140.
3. Христолюбов А.С., Потехин Б.А., Михайлов С.Б., Скворцов А.А. Демпфирующая способность баббитов, полученных различными способами. - Вестник ИжГТУ, 2008. - №4. - С. 33-35
4. Потехин Б.А., Илюшин В.В., Христолюбов А.С. Влияние способов литья на структуру и свойства оловянного баббита. - Металловедение и термическая обработка металлов, 2009. - №8. - С. 16-21.
5. Потехин Б.А., Глуценко А.Н., Илюшин В.В. Свойства баббита Б83. - Технология металлов, 2006. - №3. - С. 17-23.

**УДК 621.791**

## **ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСИ И ОБРАБОТКИ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ПРИ СВАРКЕ**

Анжелика Валерьевна Дорохина, Андрей Владимирович Лисняк

*Студенты 2 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Известно, что свойства различных участков сварных соединений зависят от характера протекания в них процессов нагрева и охлаждения. Основным инструментом для изучения этих процессов в некоторой локальной области тела в зависимости от времени является сварочный термический цикл (СТЦ).

В данной работе проводилась запись и обработка СТЦ при механизированной сварке плавящимся электродом в среде защитных газов. Сварка выполнялась на следующих режимах: диаметр проволоки – 1,2 мм, сварочный ток 180...200 А, скорость подачи проволоки – 7...8 м/мин, расход защитного газа – 12...14 л/мин. Сваривались образцы толщиной 12 мм, поэтому для получения качественного сварного соединения на них была выполнена разделка кромок. Заполнение разделки выполнялось за три прохода. Время между проходами составляло 10 минут.

Для регистрации температур использовались хромель – алюмелевые термопары. Термопары устанавливались на разном расстоянии от сплавляемой кромки с обратной стороны: 2, 5 и 8 мм. Приварка термопар выполнялась при помощи установки для конденсаторной сварки. Места приварки термопар предварительно зачищались.

Для записи использовался комплект оборудования, состоящий из многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и промышленного компьютера. В процессе подготовки к эксперименту проводилась калибровка каналов АЦП. Для этого при помощи специального источника питания на них подавались заранее известные напряжения, соответствующее температурам 100, 500 и 1300 °С, взятые из ГОСТ Р 8.585-2001 «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования».

После записи СТЦ сохранялись на персональном компьютере и обрабатывались в программе Excel, предназначенной работы с табличными данными. В результате обработки определялись основные параметры сварочных термических циклов, которые определяют свойства сварного соединения. К таким параметрам относятся: максимальная температура нагрева, время пребывания металла при температурах выше 1000 °С, скорость охлаждения в интервале температур от 600 до 500 °С, время охлаждения от 800 до 500 °С.

Дальнейшим продолжением работы является запись и обработка СТЦ для сварочной ванны. Для этого планируется использовать то же самое оборудование, но уже более тугоплавкие – вольфрам-рениевые термопары.

УДК 621.791

## **ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ВАГОНА МЕТРО**

Сергей Александрович Ли

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Предприятие ОАО «Метровагонмаш» изготавливает подвижные составы для метрополитена и железной дороги (РЖД). Рассматриваемая в данной работе сварная рама тележки вагона является одной из составных частей вагона метро. В вагоне метро присутствуют две таких тележки, каждая из которых имеет по две колесные пары. Рама тележки изготавливается из низкоуглеродистой низколегированной стали. Основным способом сварки при изготовлении – механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов.

Сборка и сварка рамы осуществляется в два этапа. На первом этапе идет изготовление промежуточных подборок: двух продольных, двух концевых и одной центральной балок. На втором этапе выполняется окончательная сборка и сварка изделия. Сборка под сварку и сама сварка выполняется в специальных жестким зажимных приспособлениях.

Каждая подборка по отдельности и изделие в целом подвергаются послесварочной термической обработке. По существующей технологии длительность термической обработки составляет 12 часов. Данная операция является очень дорогостоящей, так как на ее проведение требуется очень большое количество энергии. Причина, по которой проводится термическая обработка, заключается в отсутствии у предприятия изготовителя данных о ее влиянии на остаточные сварочные напряжения и работоспособность изделия. Поэтому, по просьбе ОАО «Метровагонмаш» в данной работе изучалось влияние наличия или отсутствия термической обработки на напряженное состояние сварной рамы в процессе ее эксплуатации.

Работа проводилась с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе «СВАРКА», разработанного на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана, методом конечных элементов.

Наиболее трудоемким этапом работы было создание геометрической модели сварной рамы и ее разбивка на конечные элементы. Так как рама имеет две оси симметрии, то была построена одна четвертая часть рамы. Из-за сложности решаемой задачи при моделировании сварочного источника были приняты ряд допущений. Во-первых, сварочная дуга принималась мгновенным источником, который вводит тепло сразу в весь объем сварного шва. Во-вторых, принималось, что в основной металл тепло не попадает. При данных допущениях, шов расширяется при нагреве и дает усадку при охлаждении. Объем основного металла

при этом остается неизменным. Из-за сопротивления основного металла изменению объема металла шва происходит пластическая деформация и возникают остаточные напряжения.

Проведенные расчеты показали, что при существующей технологии сварки применение после сварочной термической обработки обосновано, однако после дополнительного анализа ее продолжительность возможно может быть снижена.

**УДК 621.791.01**

## **ОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОГО СЛОЯ ШВА НА ПОДКЛАДНОЙ ЛЕНТЕ ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ**

Антон Александрович Линник

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В. Коберник,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Сварка под флюсом зарекомендовала себя как высокопроизводительный процесс, обеспечивающий соединение деталей с широким диапазоном толщин. Однако этот способ имеет существенные ограничения по пространственному положению. В основном выполняют соединения в нижнем положении. Несмотря на это, сварка под флюсом нашла применение при выполнении стыковых кольцевых соединений трубопроводов. При строительстве магистральных трубопроводов этим способом выполняют поворотные стыковые соединения труб диаметром от 325 мм до 1220 мм и толщиной стенки от 6 до 32 мм. При этом выполняют швы, как с разделкой кромок, так и без нее. При соединении трубопроводов диаметром более 720 мм применяют двухстороннюю сварку, а при соединении трубопроводов диаметром более 325 мм - одностороннюю. Более технологичным и универсальным является выполнение односторонней сварки с V-образной разделкой кромок (рис. 1), т.к. при этом отсутствует необходимость доступа с обратной стороны.

При применении односторонней сварки возникает ряд проблем связанных с формированием обратного валика, зависящих от многих факторов [1, 2]. Корневой слой шва, при односторонней сварке под флюсом, выполняется следующими способами:

- ручной дуговой сваркой электродами с покрытием основного вида;
- механизированной сваркой проволокой сплошного сечения методом СТТ;
- ручной дуговой сваркой электродами с покрытием целлюлозного вида.

Кроме того, с целью предотвращения прожогов и улучшения отделимости шлаковой корки с первого автоматного слоя, после окончания сварки корневого слоя выполняют первый заполняющий слой механизированной сваркой самозащитной порошковой проволокой или ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. С этой же целью допускается подварка всего периметра корня шва изнутри трубы электродами с основным видом покрытия.

Выполнения корневого слоя шва и первого заполняющего слоя ручными или механизированными способами сварки ограничивает рост производительности сварки всего соединения, а качество соединения зависит от субъективных факторов.

Известны технологии, согласно которым корневого слоя шва выполняется автоматической сваркой под флюсом с формированием обратной стороны шва, за счет использования подкладных устройств различного рода. В работе [1] отмечается, что даже при условии удержания сварочной ванны не всеми подкладными устройствами гарантируется получение стабильных размеров обратного валика. Автор работы [3] предлагает использовать в качестве подкладного устройства многослойные стеклянные ленты марки ЛМС (ленты ЛМС), обеспечивающие поддержание и качественное формирование обратной стороны шва.

В качестве альтернативы этим способам предлагается использование ленты ЛМС для формирования корневого слоя шва в условиях автоматической одно- и двухдуговой сварки под флюсом.

Исследования показали, что лента ЛМС обеспечивает удержание и равномерное формирование корневого слоя шва, однако при некоторых режимах отсутствует усиление обратной стороны шва, что по-видимому, связано с расходом наплавленного металла на заполнение зазора. Таким образом, показано, что применение лент ЛМС, позволяет сформировать корневой слой шва автоматической сваркой под флюсом с использованием V-образной разделки с притуплением  $1,8 \pm 0,8$  мм.

### Литература

1. *Доронин Ю.В.* Гидродинамические явления в сварочной ванне и их влияние на формирование обратной стороны шва при односторонней сварке. - Сварка и диагностика, 2010. - №5. - С 14-20
2. *Доронин Ю.В., Волобуев Ю.В.* Особенности физико-химических свойств шлаковых систем сварочных материалов, формирующих обратную сторону шва при односторонней дуговой сварке. - Сварка и диагностика, 2008. - №2. - С 17-23
3. *Доронин Ю. В.* Разработка теоретических основ формирования обратной стороны шва с учетом физико-химических процессов в сварочной ванне и создание новых сварочных материалов для односторонней дуговой сварки сталей плавящимся электродом : автореф. дис. д.т.н. - М.: 2010. - 29 с.
4. *Коберник Н.В., Чернышов Г.Г., Гвоздев П. П., Линник А. А.* Влияние рода тока и полярности на формирование шва под флюсом. - Сварка и диагностика, 2011. - №5. - С 24-27.
5. *Ммандельберг С.Л, Сидоренко Б.Г., Рыбаков А.А., Пискунов В.М., Зацерковский В.В.* Воздействие вспомогательной дуги на формирование швов. - Автоматическая сварка, 1980. - №2. - С47-48. Алешин, Чернышов.
6. ТУ 6-48-00204961-12-90. Ленты многослойные стеклянные марки ЛМС.



УДК 621.791

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СТАЛИ ПУТЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Арина Сергеевна Микенина, Мария Владленовна Борзых,  
Лилия Геннадьевна Бибилова

*Студенки 4 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.Ф. Якушин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Свойства сварных соединений зависят от качества исходного металла.

При непрерывной разливке конструкционных сталей неизбежно образование химической неоднородности в результате специфики процесса затвердевания стали в кристаллизаторе.

В результате избирательной диффузионной кристаллизации атомы элементов, имеющих меньшую растворимость в твердом металле, чем в жидком (при одинаковой температуре), вытесняются растущими кристаллитами дендритной столбчатой формы в зоны их срастания передними гранями, образуя слой с повышенным содержанием легирующих и примесных элементов [1]. Наиболее ликвирующими элементами в стали являются углерод, кремний, марганец, сера, фосфор, мышьяк, а так же кислород в виде оксида железа  $FeO$ . Кроме того, в центральной части слитка возможно образование комплексного ликвата, температура плавления которого ниже, чем у наиболее вероятной пары  $FeO-FeS$ . Такая сталь может вызвать трудности при горячей объемной штамповке и сварке, образуя межслойные хрупкие зоны и горячие трещины.

Таким образом, качество стали определяет именно температура плавления комплексного ликвата, определению которой посвящена данная работа.

Для исследований подготовлены образцы двух типов: из центральной части слитка, где обычно располагаются ликваты, и из периферийной части, где ликваты обычно отсутствуют.

Для испытаний предполагается использовать лабораторную установку ЛТП-3-5. В процессе испытаний каждый образец подвергается электроконтактному нагреву под нагрузкой до его хрупкого межзеренного разрушения. Температура разрушения образца фиксируется с помощью приваренной к нему термопары, подключенной к регистрирующему прибору. Полученные по указанной методике результаты испытаний образцов двух типов позволят оценить степень химической неоднородности исследуемого металла.

## Литература

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М.Неровного. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007.- 752 с.

**УДК 621.791**

## **ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ПОДВОДНОГО УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА**

Анна Сергеевна Монкина

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Участок магистрального трубопровода, который требует ремонта, проходит по дну Куйбышевского водохранилища. Трубопровод имеет следующие характеристики: диаметр 720 мм, толщина стенки 16 мм, материал – низкоуглеродистая низколегированная сталь (класс прочности К55), рабочее давление 7 МПа (70 атм.). Максимальная глубина залегания трубопровода 36 метров. Так как повреждение достаточно протяженное, то необходима замена этого участка целиком.

Для получения качественных сварных соединений сварку предлагается производить в камере без контакта с водой. Сварка в камере на глубине 36 метров имеет следующие особенности:

- сварка производится в камере, заполненной аргоном, при повышенном давлении, которое зависит от глубины залегания трубопровода и выше атмосферного;
- из-за низкой температуры окружающей среды и высокого коэффициента теплоотдачи от стали в воду увеличивается отвод теплоты от зоны сварки, что приводит к возрастанию скоростей охлаждения;
- повышенное давление в камере оказывает влияние на форму шва (увеличивает проплавление и уменьшает ширину валика).

Представленная работа состоит из двух направлений: разработка технологии сварки и конструирование камеры.

Разработка технологии осуществлялась при помощи программного комплекса «Сварка», который использует метод конечных элементов. В нем была решена тепловая задача и определены основные параметры сварки, температура предварительного подогрева.

При конструировании камеры рассматривали следующие способы подводной сварки без контакта с водой:

- сварка в кессоне, который представляет из себя водолазный колокол небольших размеров, устанавливаемый на трубу. В этом случае длина вырезаемого участка ограничена размерами камеры; сварка производится при давлении больше атмосферного;
- сварка в камере шахтного типа, которая имеет выход на поверхность. Установка этой камеры на ремонтируемый участок очень трудоемка. Применение этой камеры ограничено скоростью течения, глубиной и погодными условиями;
- сварка в портативном боксе. Размеры ремонтируемого дефекта также ограничены.

При ремонте методом замены дефектного участка ранее использовался ступенчатый метод. При этом методе часть трубопровода, подлежащая ремонту, постепенно вырезалась и на место вырезанного участка вставлялся новый. Таким образом, отремонтированный участок состоял из нескольких сваренных между собой «катушек». Ремонт по этому методу занимает много времени.

Предполагается, что проектируемая камера будет состоять из нескольких частей, которые легко скрепляются между собой. Это позволит сделать камеру необходимой длины в зависимости от длины вырезаемого участка. Часть трубы, подлежащая ремонту, будет заменена за один раз, что значительно снизит затраты на ремонт. Для предотвращения деформации трубы во время реза будет использоваться силовая рама. Камера будет крепиться к этой раме, что обеспечит ее точную центровку относительно трубы.

**УДК 621.791**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА НЕРАЗРУШАЮЩИМ СПОСОБОМ**

Зульфья Хусаиновна Муртазина

*Студентка 1 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Коновалов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Как правило, для определения основных механических свойств материала (предела текучести, предела прочности, показателей пластичности) применяют разрушающие методы испытаний. Например, для испытаний на растяжение по ГОСТ 1497-84 необходимо изготовить цилиндрические или плоские образцы, которые в процессе нагружения специальной разрывной машиной доводятся до разрушения. Размеры рабочей части образцов тщательно измеряются до и после разрушения, кроме того, в процессе испытания записывается машинная диаграмма, т.е. кривая «нагрузка – перемещение захватов», по которой после проведения испытаний расчетным путем определяются механические свойства.

Совершенно очевидно, что разрушающие испытания образцов для определения механических свойств материала весьма трудоемки и имеют много недостатков. Необходимость вырезки образца стандартных размеров из конструкции делает эти методы непригодными для оперативного исследования конструкций, находящихся в эксплуатации, либо при малом объеме материала для исследований. В таких ситуациях целесообразно использовать неразрушающие методы определения свойств.

Многочисленные исследования [1] показали, что основные механические свойства материала без вырезки образца из конструкции могут быть определены по диаграмме вдавливания сферического индентора (как при измерении твердости по методу Бринелля). На этих диаграммах обнаружены такие же характерные точки, как и на диаграммах растяжения. В настоящее время разработаны приборы для реализации такого способа испытаний (например, ПИМ-ДВ-1, которым располагает лаборатория кафедры технологий сварки и диагностики МГТУ им. Н.Э. Баумана). Освоению методики работы с указанным прибором посвящена данная работа.

Для исследований подготовлена серия плоских образцов из стали 09Г2С, пригодных для испытаний на вдавливание и растяжение. Участок поверхности в захватной части каждого образца был зачищен для испытания на вдавливание и подвергнут индентированию с записью диаграммы на приборе ПИМ-ДВ-1. После этого образцы были испытаны на растяжение согласно ГОСТ 1497-84 на поверенной разрывной машине EU-100. Получены графики соответствия результатов испытаний двумя методами, позволяющие проводить экспресс-анализ механических свойств стальных изделий.

### Литература

1. *Марковец М.П.* Определение механических свойств металлов по твердости. - М.: Машиностроение, 1979. - 192 с.

**УДК 621.791**

## **ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНТАКТНОЙ ШОВНОЙ СВАРКИ МЕМБРАННЫХ БЛОКОВ**

Александра Анатольевна Пирогова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Милованов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В работе рассматриваются вопросы повышения объёмов производства мембранных блоков за счёт увеличения скорости контактной шовной сварки

кольцевых швов. Необходимость постоянства качества соединений от сварки к сварке обуславливается большой программой выпуска и высокими требованиями к герметичности готовых изделий.

Основное внимание уделено вопросам проектирования механической части сварочной установки, позиционирования изделия относительно электродов, систем слежения за текущим положением роликов, обеспечением прижима мембраны в процессе сварки при условии недопущения её смятия. Кроме того, машина должна отвечать требованиям эргономики и культуры производства. Набор вышестоящих задач является нетривиальным и требует решения ряда специфических проблем и принятия неоднозначных технических решений, как конструкторского, так и технологического профиля.

В качестве источника сварочного тока был выбран инвертор, обоснование использования которого приведено в литературе [1]. Системы контроля перемещений движущихся узлов реализованы с применением сервоприводов, обеспечивающих автоматическую постановку прихваток, определение момента подхода ролика к ранее сваренным прихваткам в процессе сварки и автоматическое замыкание шва.

Проведены расчёты, доказывающие обоснованность и целесообразность принятых решений, экономическую выгоду нового оборудования относительно существующего. Рассчитаны требуемые точности измерения угла поворота планшайбы, которые позволят обеспечить одинаковое перекрытие сварных точек шва при переменной скорости сварки на участках разгона и торможения привода.

Автоматическая постановка прихваток при пониженной величине пропускаемого тока с последующим их переплавлением при основном проходе позволяет предельно снизить требования к квалификации персонала и даже исключить человека из процесса сварки мембранных блоков. В то же время, датчики сервоприводов отслеживают износ роликов по перемещению приводного механизма, что позволяет составить график текущего ремонта и обслуживания, и, как следствие, снизить время простоя оборудования по причине неисправности.

### **Литература**

1. *Исаев А.П. Милованов А.В.* Инверторный источник для контактной шовной сварки. Сварочное производство, 2005. - №3. - С.34-38.

УДК 621.791

**ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОСЛЕСВАРОЧНОЙ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЬЦЕВЫХ СТЫКОВ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ ВЫСОКОПОЧНЫХ СТАЛЕЙ  
С ПОВЫШЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ**

Павел Александрович Пономарев

*Студент 5 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Королев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Для расширения поставок российского природного газа в Европу и снижения зависимости его покупателей от стран-транзитёров создается проект газопровода «Южный поток», который пройдет по дну Черного моря. Планируемая мощность «Южного потока» около 60 млрд. кубометров газа в год. Подводный отрезок газопровода будет иметь протяжённость более 900 км. Для обеспечения подачи газа на это расстояние между компрессорными станциями планируется использовать трубы диаметром 820 мм с толщиной стенки 40,1 мм, рассчитанные на давление 280 атм. (28,45 МПа).

По действующей нормативной документации при сварке трубопроводов с большой толщиной стенки (более 30 мм) из стали класса прочности выше К60 необходима послесварочная термическая обработка (высокий отпуск) с целью снижения уровня остаточных сварочных напряжений (ОСН). Проведение термообработки усложняет и удорожает технологию строительства трубопровода.

Есть основания предполагать, что она не является необходимой, поскольку существует положительный опыт эксплуатации аналогичных газопроводов ОАО «Газпром» с толщиной стенки до 27,7 мм, строительство и ремонт которых осуществлены без послесварочной термообработки. Для распространения такой технологии на газопроводы с толщиной стенки до 40,1 мм необходимо сравнить уровни ОСН в стыках газопроводов с толщинами стенок 27,7 мм и 40,1 мм.

Оценка уровня ОСН проводилась с применением компьютерного моделирования. В работе было проведено сопоставление результатов компьютерного моделирования процессов сварки кольцевых стыков труб с диаметром 820 мм и толщинами 27,7 и 40,1 мм. Материал труб - сталь К65 с пределом текучести основного металла 585 МПа, зоны термического влияния 700 МПа, металла шва 520 МПа.

В результате работы получены распределения продольных и кольцевых напряжений по толщине стенки свариваемых труб в трёх случаях: после сварки, после гидроопрессовки и после приложения эксплуатационной нагрузки. При этом напряжения для труб с толщиной стенки 40,1 мм не превышали напряжений в трубах с толщиной стенки 27,7 мм, для монтажа которых не применяется

термообработка после сварки. На основании полученных данных сделан вывод, что послесварочная термическая обработка для данного случая не является необходимой.

Результаты работы в настоящее время переданы в ОАО «ВНИИГаз», где будет проводиться сварка и испытание контрольных стыков.

**УДК 621.791.01**

## **СВАРКА НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ТРУБ МАЛОГО ДИАМЕТРА**

Евгений Сергеевич Третьяков

*Студент 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Н.В. Коберник,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Использование комбинированной защиты при сварке неплавящимся электродом недостаточно изучено и освещено в печати. В результате проработки имеющейся литературы нами были выдвинуты известные факты и собственные гипотезы, характеризующие данный процесс в сравнении с классической сваркой неплавящимся электродом:

- Повышение энергетических характеристик дуги
- Повышение смачивания и жидкотекучести металла
- Уменьшение порообразования.

Эксперименты, подтверждающие или опровергающие эти теории, было решено проводить путем сварки неповоротных стыков труб малого диаметра из сталей перлитного класса ввиду нетривиальности и актуальности задачи. Задача сварки неповоротного стыка труб отличается от других задач тем, что в данном случае необходимо рассматривать несколько пространственных положений. Существует четыре основных пространственных положения сварки: нижнее, вертикальное положение «На спуск», потолочное положение и вертикальное положение «На подъем».

Первый эксперимент проводился путем наплавки валиков на трубы в этих пространственных положениях, тем самым моделируя облицовочный слой при сварке труб малого диаметра, на одинаковых параметрах режима, но с различными расходами газов. Сведем в таблицу параметры экспериментов (табл. 1). Данный эксперимент позволяет нам проверить гипотезы об энергетических характеристиках дуги и о смачивании и жидкотекучести металла посредством замеров геометрических параметров швов: глубины проплавления  $h$ , высоты усиления  $g$  и ширины усиления  $e$ .

Табл. 1. Параметры экспериментов

Положение / Эксперимент	Нижнее	Вертикальное «На спуск»	Потолочное	Вертикальное «На подъем»
1	10 л/мин Ar	10 л/мин Ar	10 л/мин Ar	10 л/мин Ar
2	5 л/мин Ar + 5 л/мин CO <sub>2</sub>	5 л/мин Ar + 5 л/мин CO <sub>2</sub>	5 л/мин Ar + 5 л/мин CO <sub>2</sub>	5 л/мин Ar + 5 л/мин CO <sub>2</sub>
3	10 л/мин Ar + 10 л/мин CO <sub>2</sub>	10 л/мин Ar + 10 л/мин CO <sub>2</sub>	10 л/мин Ar + 10 л/мин CO <sub>2</sub>	10 л/мин Ar + 10 л/мин CO <sub>2</sub>
$I_{св} = 140 \text{ A}$ , $V_{св} = 15 \text{ м/ч}$ , $V_{шт} = 60 \text{ м/ч}$ , $l_d = 4 \text{ мм}$ , $h_3 = 2 \text{ мм}$ .				

В нижнем положении с изменением расходов газов наблюдается незначительное изменение всех трех геометрических параметров швов. Связано это, по-видимому, с неоднозначным течением жидкого металла сварочной ванны, вызванным увеличением жидкотекучести металла – таким образом нивелируется эффект от увеличения концентрации дуги. В вертикальном положении «На спуск» глубина проплавления  $h$  изменяется незначительно. Связано это с увеличением жидкотекучести металла, которое в этом положении неблагоприятно влияет на данный параметр. При одновременной подаче 5 л/мин Ar и 5 л/мин CO<sub>2</sub> сильно меняются высота усиления  $g$  и ширина усиления  $e$  – связано это также с увеличением жидкотекучести металла. Этот же эффект не наблюдается при одновременной подаче 10 л/мин Ar и 10 л/мин CO<sub>2</sub>, по-видимому, из-за вытеснения углекислого газа аргоном из зоны жидкой сварочной ванны. В вертикальном положении «На подъем» наблюдается тенденция к увеличению глубины проплавления  $h$  и высоты усиления  $g$  (соответственно, и к уменьшению ширины усиления  $e$ ). Связано это с увеличением концентрации дуги и повышением жидкотекучести жидкого металла сварочной ванны. В потолочном положении с увеличением концентрации CO<sub>2</sub> наблюдается значительное увеличение глубины проплавления  $h$  при незначительных изменениях высоты усиления  $g$  и ширины усиления  $e$ . Связано это, по-видимому, с увеличением энергетических характеристик дуги и более концентрированного оттока жидкого металла в хвост сварочной ванны вследствие повышения его жидкотекучести.

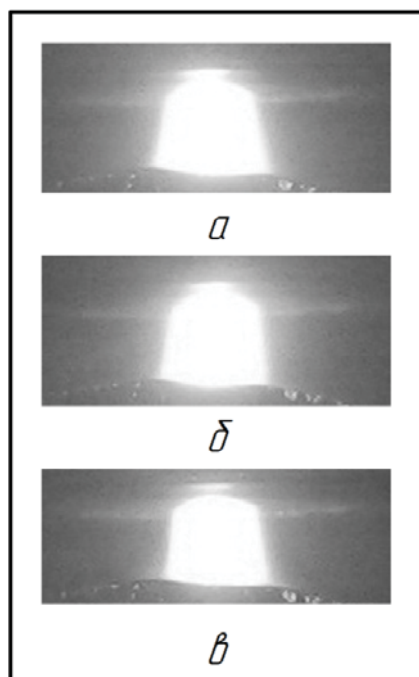


Рис. 1. Дуга, горящая в среде Ar, с подачей во второе сопло:  
 а – 0 л/мин CO<sub>2</sub>; б – 5 л/мин CO<sub>2</sub>;  
 в – 10 л/мин CO<sub>2</sub>



На рис. 1 представлены фотоснимки дуг, горящих в нижнем положении в среде различных расходов газов. Они позволяют нам судить о некотором сжатии дуги, а, следовательно, и об увеличении ее концентрации. Таким образом, гипотеза об обжатии дуги подтверждается.

Также нами были проведены эксперименты по раскислению сварочной ванны путем увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  на различных режимах. Теоретически и аналитически возможность данного процесса описана в работе. На данный момент положительных результатов не получено. Задача будет решаться в дальнейших исследованиях.

**УДК 621.791**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОПЕРЕЧНОЙ УСАДКИ ДЛЯ ОБЖАТИЯ МУФТЫ НА ТРУБОПРОВОДЕ**

Анна Сергеевна Чечета

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Куркин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Одним из способов ремонта дефектного участка трубопровода является установка усилительной муфты. Для эффективной работы муфты необходимо проанализировать все факторы нагрузки на стенку трубы и возможность воздействия на них со стороны муфты.

Наибольший интерес представляет ремонт дефекта в начальной стадии развития, поскольку позволяет за счет установки сравнительно тонкой и легкой муфты обеспечить работу конструкции за счет использования остаточной прочности самой поврежденной трубы. Муфта должна остановить или существенно замедлить рост дефекта, поскольку она не рассчитана на работу взамен участка трубы после потери герметичности.

Практически любая муфта, приваренная по концам к трубе, снижает напряжения в поврежденном участке от продольных сил и от изгиба оси трубы. Нагрузку от внутреннего давления муфта воспринимает только в том случае, если посажена на трубу без зазора или с натягом. Наиболее простым и эффективным средством создания натяга, кроме сборочных приспособлений, является усадка от продольных швов и от нагрева стенки муфты газовой горелкой.

Компьютерное моделирование процессов сварки и нагрева, проведенное с помощью программного комплекса «Сварка», позволило рассчитать параметры нагрева, необходимого для обжатия муфты.

### Литература

1. *Винокуров В.А.* Сварочные деформации и напряжения. - М.: Машиностроение, 1968. - 236 с.
2. *Винокуров В.А., Григорьянц А.Г.* Теория сварочных деформаций и напряжений. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.

## ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ШАРОВЫХ КРАНОВ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОТРУБОПРОВОДОВ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Сергей Вадимович Гуркин

*Студент 4 курса,  
кафедра «Технология сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.Ф. Якушин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технология сварки и диагностики»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Шаровые краны изготавливают из листовой стали толщиной 60 мм путём вальцовки и сварки обечаек, которые подвергают нагреву до 1300 °С и горячей объёмной штамповке, создавая полушаровую форму с патрубком. При этом в зону сварки может попасть сталь с повышенной концентрацией ликватов.

По опыту Череповецкого завода металлоконструкций, изложенного в статье главного сварщика этого завода, при сварке слоя шва на уровне ликвата происходит повышенное газовыделение, бурление и периодические микровзрывы, приводящие к выбросу шлака и флюса из зоны сварки и прерыванию дуги. Кроме того в зоне ликвата возникают расслоения, по которым в ряде конструкций, могут возникать концентрации напряжений.

Кроме того, соединение будет забраковано по УЗК и хрупким разрушениям. Для предотвращения этих дефектов предложено предварительно консервировать зону ликвата путём местного глубокого переплава по образующей, путём сварки в CO<sub>2</sub>.

Второй вариант предотвращения этих дефектов - селективный отбор листового проката для изготовления таких ответственных сварных соединений, как шаровые краны.

Однако, по данным Череповецкого завода, дефектоскописты завода не могут выявить слой ликвата с помощью УЗК.

В статье «Получение однородной стали» директора ЦНИИ указан третий вариант – снижение скорости разливки. Однако наиболее радикальный вариант – повышение чистоты выплавляемой стали.



**Секция №8**  
**Материаловедение в машиностроении**

УДК 620.17:620.18

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО МАГНИТОТВЕРДОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Cr-Co С СОДЕРЖАНИЕМ 15 МАСС. % КОБАЛЬТА, ЛЕГИРОВАННОГО МОЛИБДЕНОМ, ТИТАНОМ И КРЕМНИЕМ**

Денис Евгеньевич Стрекалов, Александр Сергеевич Меркулов

*Студенты 6 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т.В. Соловьева,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Магнитотвердые сплавы системы Fe-Cr-Co (ГОСТ 24897–81) характеризуются высокой выпуклостью кривой во втором квадранте и относительно низкой коэрцитивной силой. С целью уменьшения выпуклости кривой и увеличения коэрцитивной силы был выбран сплав состава Fe-27,3Cr-15,2Co-2,4Mo-0,78Si-1,1Ti. Выбор легирующих элементов был сделан, исходя из положительного влияния титана, молибдена, кремния на магнитные свойства магнитотвердых сплавов системы Fe-Cr-Co: ранее при изучении магнитных свойств магнитотвердых сплавов стало известно, что молибден уменьшает выпуклость кривой размагничивания и изменяет характер распада высокотемпературного  $\alpha$  - твёрдого раствора; титан сильно повышает коэрцитивную силу [1, 2].

Сплавы выплавляли из шихтовых компонентов промышленной чистоты в вакуумной индукционной печи. Выплавленные слитки весом 1...2 кг подвергали горячей ковке с получением прутков диаметром 10...16 мм, которые затем прокатывали в горячую при температуре 1100...1150°C в калибрах до диаметра 10 мм. Круглые прутки разрезали на образцы длиной 50 мм.

Метод получения магнитов из сплава на основе системы Fe-Cr-Co [3]:

1. Закалка на 1150°C (производится с целью фиксации  $\alpha$  – твёрдого раствора),
2. Нагрев до температуры 700°C + выдержка 10 минут (получаем немагнитную матрицу, в которой находятся магнитные частички тормозящие перемещение границ доменов),
3. Термическая обработка:
  - быстрое охлаждение в интервале температур 700...600°C со скоростью V1 (в магнитном поле).
  - медленное охлаждение в интервале температур 600...500°C со скоростью V2 (без магнитного поля).

Высокотемпературную закалку и термомагнитную обработку проводили в лабораторной установке с панцирным электромагнитом. Отпуск образцов проводили в стандартных лабораторных печах муфельного типа.

Поиск оптимальной ТМО проводили методом планирования эксперимента с помощью программы Statistics 6.0 (табл. 1).

За нулевой уровень режима термической обработки приняли скорость охлаждения V1(Фактор А), равной 100°С/ч, и скорость охлаждения V2 (фактор В), равной 8°С/ч.

Табл. 1. Метод планирования эксперимента

№	Фактор А	Фактор В	V1, °С/ч	V2, °С/ч	V <sub>г</sub> , Тл	H <sub>с</sub> , кА/м
1	0,0	0,0	100	8	1,24	31,20
2	1,0	1,0	120	11	0,90	34,80
3	-1,0	-1,0	80	5	1,11	38,10
4	-1,0	+1,0	80	11	1,14	24,30
5	0,0	-1,414	100	3,75	1,04	42,92
6	+1,0	-1,0	120	5	0,89	36,27
7	-1,414	0,0	71,7	8	1,17	31,50
8	1,414	0,0	128,28	8	0,86	30,45
9	0,0	0,0	100	8	1,13	30,15
10	0,0	0,0	100	8	1,18	30,75
11	0,0	1,414	100	12,24	1,08	26,86

Максимальные магнитные свойства дал эксперимент №5 (табл. 1): H<sub>с</sub> = 42,92 кА/м, V<sub>г</sub>= 1,04 Тл.

Измерение гистерезисных магнитных свойств проводили на гистерезисографе УИ.ФИ-400/5-003 (рис.1)

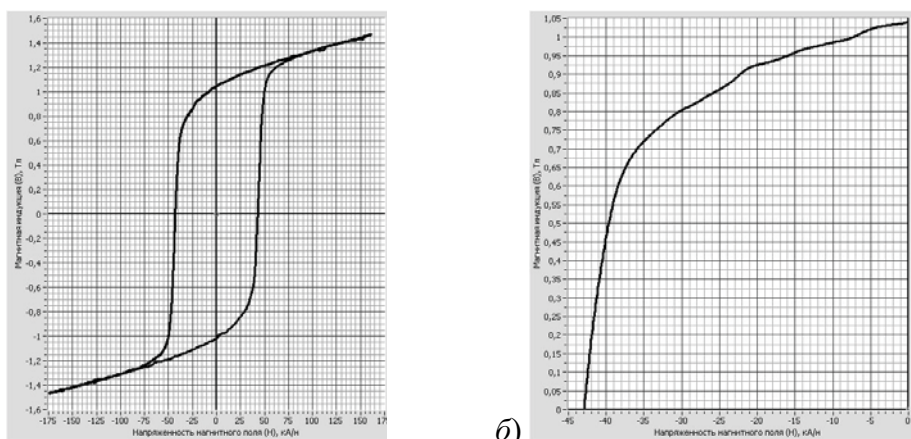


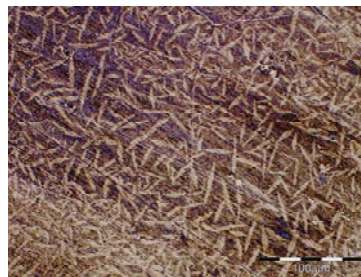
Рис.1. Петля гистерезиса (а) и кривая размагничивания (б) исследуемого сплава

Выявление структуры осуществляли методом травления в смеси соляной и азотной кислот(3:1). После травления структуру снимали с помощью микроскопа «Неофот-2» и фотокамеры «Sony».

Полученные структуры:



Закаленный, неотпущенный.  
Увеличение x1000



Закалка + отпуск 50ч.  
Увеличение x500

### **Выводы:**

1. На магнитотвердом деформируемом сплаве Fe-27,3Cr-15,2Co-2,4Mo-0,78Si-1,1Ti получили коэрцитивную силу до 42,92 кА/м (по ГОСТ 24897-81 для магнитотвердых сплавов системы Fe-Cr-Co  $H_c=40$  кА/м), а также остаточную индукцию  $B_r=1,04$  Тл.

2. Молибден и титан повышает коэрцитивную силу сплавов системы Fe-Cr-Co и снижают выпуклость кривой размагничивания.

### **Литература**

1. *Кекало И.Б., Самарин Б.А.* Физическое металловедение прецезионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
2. *Мишин Д.Д.* Магнитные материалы. – М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.
3. *Миляев И.М., Кавалерова Л.А., Михеев Н.И., Прозоров А.А.* Новые сплавы для постоянных магнитов. – М.: Известия ВУЗов «Электромеханика», 1976. - №6. – С. 703-704.

**УДК 620.1**

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЖАРОВЫХ ТРУБ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Максим Вадимович Ахмедзянов<sup>(1)</sup>, Сергей Вячеславович Овсепян<sup>(2)</sup>,  
Алла Сергеевна Помельникова<sup>(3)</sup>.

*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, кандидат технических наук<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, профессор<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Материаловедение в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Помельникова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Для обеспечения технических требований к перспективному газотурбинному двигателю (ГТД) нового поколения необходимо разрабатывать материалы, обладающие повышенными свойствами по сравнению с серийными материалами, применяющимися в двигателях нынешнего поколения. С целью увеличения физико-механических и технологических свойств проводится как модифицирование хорошо зарекомендовавших себя сплавов, так и разработка новых, универсальных, с большей прочностью, жаропрочностью, с меньшей плотностью и с другими, не менее важными качествами.

Одним из важнейших и сложнейших элементов в конструкции ГТД является жаровая труба, в которой происходит сжигание топлива. Конструкция камеры

сгорания определяется условиями работы и назначением механизма в целом; при ее изготовлении используются жаропрочные материалы. Материал для жаровых труб должен отвечать широкому кругу требований: высокий предел длительной прочности при повышенных температурах, хорошая термостойкость, удовлетворительные значения сопротивления окислению и коррозионной стойкости к продуктам сгорания топлива. Также сплав должен обладать высоким значением пластичности, как длительной, так и кратковременной.

Необходимость разработки нового сплава для жаровых труб перспективных многоресурсных ГТД была вызвана повышением требований к рабочей температуре в камере сгорания. Лучшими жаропрочными свариваемыми серийными материалами для жаровых труб авиационных ГТД следует считать сплавы Haynes 25, Haynes 188, Hastelloy X и ВЖ145. У данных материалов рабочая температура составляет примерно 1050...1100 °С. При новых условиях эксплуатации этой рабочей температуры недостаточно для обеспечения требований к жаровой трубе ГТД нового поколения. Увеличение температуры сгорания топлива улучшит комплекс рабочих параметров двигателя и позволит снизить эмиссию авиационных двигателей на 30 - 40%, что улучшит экологию и другие показатели окружающей среды.

В связи с невысокой рабочей температурой свариваемых серийных материалов в ВИАМ был разработан высокожаропрочный свариваемый листовый сплав ВЖ171, упрочняемый более структурно стабильными по сравнению с традиционной  $\gamma'$ -фазой частицами - нитридами титана, не растворяющимися в  $\gamma'$ -твёрдом растворе вплоть до температуры плавления последнего, с рабочей температурой до 1250 °С для жаровых труб перспективных многоресурсных ГТД [1].

Были проведены всесторонние исследования сплава ВЖ171. Так, значения временного сопротивления и предела текучести при 20 °С для сплава ВЖ171 составляют соответственно 870 и 530 МПа, а предел сточасовой длительной прочности при 1000 °С равен 55...70 МПа, при 1200 °С – 19...23 МПа.

По параметрам длительной прочности сплав ВЖ171 превосходит отечественные и зарубежные сплавы для жаровых труб во всем диапазоне температур работы.

Проведенные в работе исследования механических свойств сплава ВЖ171 подтвердили, что данный материал является самым высокопрочным свариваемым листовым сплавом.

Установлено, что физические свойства сплава ВЖ171 близки к свойствам серийных гомогенных сплавов на Ni – Co основе. Кроме того, сплав ВЖ171 обладает высокой коррозионной стойкостью в условиях геленджикского центра климатических испытаний (ГЦКИ) при испытании в жалюзийной будке.

Известно, что титан, входящий в состав сплава, после химико-термической обработки - азотирования, образует нитриды титана - упрочняющую фазу, стабильную вплоть до температуры плавления матрицы. Для обеспечения равномерного выделения частиц нитрида титана по всему телу листа и обеспечения необходимого уровня её дисперсности разработан новый вид химико-термической обработки – «внутреннее азотирование». Процесс заключается в длительной выдержке сварных конструкций и полуфабрикатов в атмосфере азота. Это позволяет реализовать требуемую структуру через диффузию азота в тело листовой заготовки.

Изделия, выполненные из предлагаемого сплава (жаровые трубы камер сгорания, стабилизаторы пламени, экраны и другие детали ГТД), могут работать до температуры 1250 °С, обладают повышенным ресурсом работы (в 1,5...2 раза) и



КПД (на 5...10 %), более низким весом (на 8...12 %) по сравнению с серийными жаропрочными свариваемыми листовыми материалами [2].

Это позволит применять данные изделия на двигателях нового поколения.

### Литература

1. *Латышев В.Б.* Высокопрочные материалы для современных и перспективных газотурбинных двигателей и прогрессивные технологии их производства. Авиационные материалы и технологии. – Москва, 2003. – с. 78-84.

2. *Латышев В.Б., Моисеев С.А., Каблов Е.Н.* Способ азотирования жаропрочных сплавов на никелевой, железоникелевой, никель-кобальтовой и кобальтовой основе / Пат. 2164964 РФ, С23С8/02, С23С8/24. – Оpubл. 10.04.2001. – 2 с.

**УДК 669.018.44**

## **КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ**

Евгения Сергеевна Евстюнина

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Помельникова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В течение длительного времени эмпирический метод «проб и ошибок» был основным при разработке жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС). Очевидно, что поиск оптимального состава ЖНС с заранее заданным уровнем свойств является весьма трудоемкой задачей. Применение для этих целей методов математического планирования эксперимента позволяет существенно сократить количество непосредственно изучаемых композиций разрабатываемого сплава. Но и в этом случае общее число опытных плавок, которое необходимо провести и изучить для выявления оптимального состава сплава, достаточно велико и требует больших временных и финансовых затрат. Особенно это касается сплавов, легированных таким дорогостоящим и дефицитным элементом, как рений [1]. В связи с этим существующие формальные методы компьютерного конструирования [2] становятся необходимым инструментом при разработке современных жаропрочных сплавов. По существу, традиционный метод “проб и ошибок” заменяется экспрессным и экономичным методом компьютерного моделирования, который позволяет не только оптимизировать химические составы уже имеющихся промышленных сплавов, но и разрабатывать новые композиции.

Важную роль в конструировании ЖНС играют методы оценки фазовой стабильности сплава. Эти методы позволяют определить вероятность протекания

фазовых превращений с образованием в структуре нежелательных фаз различного типа.

Обобщение и анализ многочисленных экспериментальных данных позволили установить влияние различных легирующих элементов на основные служебные характеристики жаропрочных сплавов, такие как фазовый состав, температуры ликвидус, солидус и  $\gamma'$ -солвус, объемная доля  $\gamma'$ -фазы и ее температурная зависимость, плотность, длительная прочность, периоды кристаллических решеток фаз и размерное несоответствие этих периодов и др. Путем статистической обработки большого массива экспериментальных данных были получены регрессионные уравнения, которые позволили рассчитывать указанные характеристики для любых новых разрабатываемых сплавов.

### Литература

1. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Сидоров В.В., Демонис И.М. Разработка монокристаллических высокорениевых жаропрочных никелевых сплавов методом компьютерного конструирования. // Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т.Кишкина: науч.-техн. сб. / под ред. Е.Н.Каблова. – М.: Наука, 2006. – С.79-97.

2. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В. Компьютерный метод конструирования литейных жаропрочных никелевых сплавов. // Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т.Кишкина: науч.-техн. сб. / под ред. Е.Н.Каблова. – М.: Наука, 2006. – С.56-76.

УДК 620.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЙ НОВОГО КЛАССА ПРОТОЧНОГО ТРАКТА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ольга Игоревна Расторгуева<sup>(1)</sup>, Владимир Петрович Мигунов<sup>(2)</sup>, Алла Сергеевна Помельникова<sup>(3)</sup>

*Студентка 6 курса<sup>(1)</sup>, кандидат технических наук<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, профессор<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Материаловедение в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Помельникова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Современные тенденции развития авиационной промышленности диктуют потребность в увеличении КПД двигателя, поэтому необходимо активно решать задачу снижения расхода топлива. Решением этой проблемы может стать обеспечение минимально допустимых радиальных зазоров в проточном тракте газотурбинного двигателя (ГТД) между рабочими лопатками и корпусами компрессора и турбины. Это связано с тем, что при работе газотурбинных установок

имеют место утечки горячего газа через радиальные и осевые зазоры, что сказывается на коэффициенте полезного действия установки в целом.

Для обеспечения минимальных зазоров и исключения повреждения лопаток ротора при касании с деталями статора последние облицовываются специальными материалами (уплотнительными материалами). Эффективная работа уплотнений проточного тракта обеспечивается при отношении линейного износа уплотнительного материала к износу лопатки, равном 10:1. При отношении 5:1 получают удовлетворительные результаты. Существующие серийные материалы, используемые в интервале рабочих температур от 600 до 800 °С, имеют соотношение износов от 2:1 до 4:1. Такие материалы не дают возможности конструкторам уменьшать зазоры и, кроме того, здесь имеет место существенный износ торцов лопаток.

Учитывая сложившуюся ситуацию и все недостатки уплотнений, используемых в настоящее время, в ВИАМ на протяжении нескольких лет ведется разработка принципиально новых материалов прирабатываемой пары для уплотнения радиальных зазоров в проточной части ГТД с высокими эксплуатационными характеристиками, в том числе по истираемости. В качестве истираемого уплотнения предлагается использование высокопористого материала на основе волокон жаростойких сплавов [1].

Целью настоящей работы является сравнительное исследование параметров эрозионной стойкости, истираемости, термостойкости, жаростойкости серийного материала УВС-2 и материала нового поколения FeCrAlY.

Принцип испытания УМ на эрозионную стойкость заключается в обдувании образца потоком сжатого воздуха с частицами абразивного материала. После испытания считается потеря массы образца ( $\Delta m$ ) и величина газоабразивной стойкости ( $\beta$ ).

$$\Delta m = m_h - m_k, \quad (1),$$

где  $m_h$  - начальная масса образца;

$m_k$  - конечная масса образца.

Газоабразивная стойкость определяется как отношение объема истраченного абразива к объему унесенного им испытываемого материала:

$$\beta = (V_a \cdot \gamma_m) / \Delta m \quad (2),$$

где  $V_a$  - объем истраченного абразива, см<sup>3</sup>;

$\gamma_m$  - плотность испытываемого материала, г/см<sup>3</sup> [2].

На основе экспериментальных данных и визуального осмотра образцов после испытания, можно сделать вывод об эрозионной стойкости сравниваемых материалов. Уплотнительный материал УВС-2 разрушен до подложки, в то время, как у образца FeCrAlY остался лишь незначительный след после обдувания его потоком твердых частиц. Следовательно, уплотнительный материал нового поколения FeCrAlY значительно превосходит материал УВС-2 по показателю газоабразивной стойкости.

Проведены сравнительные испытания уплотнений нового поколения с серийными материалами по показателям истираемости, термостойкости и жаростойкости. Результаты испытаний показали перспективность использования материала FeCrAlY в качестве уплотнения проточного тракта ГТД.

Уплотнительные материалы нового поколения зарекомендовали себя, как материалы, обладающие низкой плотностью ( $\leq 1,8$  г/см<sup>3</sup>), высокой пористостью 55...75 %, и высокими эксплуатационными характеристиками: жаростойкостью,

эрозионной стойкостью  $\geq 1100$  ед., имеют высокую истираемость (10:1), что обеспечивает снижение износа лопаток в 2...3 раза. Область рабочих температур таких материалов составляет 700...800 °С, а при применении специальных покрытий на основе оксидов кремния – до 1000 °С.

### Литература

1. *Мигунов В.П., Фарафонов Д.П.* Новые материалы, обеспечивающие повышение эффективности уплотнения радиальных зазоров в проточной части ГТД. – ФГУП ВИАМ, 2010. – 6 с.

2. *Кузнецов Е.Г., Майлер Д.П., Почуев В.П.* Применение истираемых уплотнений в проточной части ГТД. Вопросы авиационной науки и техники. – ВИАМ, 1993. – с. 8-13.

**УДК 621.77.01**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ АЗОТА И УГЛЕРОДА В МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

Евгения Евгеньевна Шистка

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Плохих,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Как известно, использование слоистых материалов позволяет значительно повысить ресурс деталей и конструкций, работающих в условиях высоких температурно-силовых нагрузок с одновременной экономией дорогостоящих легирующих элементов. Наряду с известным применением таких материалов, весьма интересным оказалось использование заготовок состоящих из сотен и тысяч слоев разнородных металлов и сплавов. Необходимость разработки нано- или ультрадисперсных материалов определяется особенностью их физико-химических свойств, позволяющих достигать новые свойства для использования на практике.

В тоже время теория и практика химико-термической обработки показывает, что существенное влияние на процессы диффузии легирующих элементов оказывают несовершенства кристаллического строения. Принято считать, что в металлических материалах диффузия имеет более высокие кинетические параметры при наличии высокой плотности дислокационной структуры по сравнению с материалами с пониженной плотностью дефектов.

Несмотря на возможные трудности, весьма перспективной, для деталей подвергаемых поверхностному насыщению, может оказаться идея формирования

особого вида регулярной микроструктуры, строение которой увеличивало бы скорость и глубину проникновения легирующих элементов. По нашему мнению это возможно сделать используя толстолистовые заготовки с заранее подготовленной ламинарной структурой субмикро- и наноразмерного диапазона заданного химического состава.

Для исследования были использованы многослойные металлические материалы, изготовленные из различных групп сталей, которые в силу различия химического состава отличались значениями коэффициентов диффузии углерода и азота. При составлении композиции многослойного материала ожидалось, что каждая составляющая окажет собственное, отличное от соседнего слоя, влияние на результат науглероживания и азотирования. Таким образом, предполагалось оценить преимущественное влияние составляющих композиции на направленную диффузию насыщающего элемента по границам раздела между соседними слоями.

### Литература

1. Колесников А. Г., Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 1. – С. 42–43

2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ. – 2010. – № 6. – С. 44–49

УДК 621.7

## **ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАСПАД ЦЕМЕНТИТНОЙ ФАЗЫ В ФЕРРИТНО-ПЕРЛИТНЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЯХ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ**

Екатерина Валерьевна Афанасьева

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Л.А. Виноградова,  
доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Проблема обеспечения надежности работы действующих магистральных газонефтепроводов с каждым годом становится все актуальней, так как сроки выработки ресурса эксплуатации значительно опережают темпы замены труб (конструктивных элементов трубопровода) [1, 2].

Актуальность проблемы, связана с фундаментальными исследованиями тонких структурных изменений в трубных сталях функционирующих трубопроводов.

Формирование системы прогнозирования эксплуатационной пригодности основного металла сварных труб (конструкционных элементов) трубопроводов связано с анализом структурообразования в сталях ферритно-перлитного класса при длительных сроках эксплуатации.

Известно, что трубы магистральных трубопроводов из малоуглеродистых низколегированных ферритно-перлитных сталей применяют после охлаждения на воздухе с температуры конечной операции прокатки без термообработки. В результате двухфазная перлитная структурная составляющая перлит имеет наноструктурное строение пластин, размер которых колеблется от 1 до 5 нанометров [3].

Горячекатаные двухфазные ферритно-перлитные трубные стали, несмотря на различия в химическом составе обладают сходством структуры перед эксплуатацией. Фаза цементита в перлите имеет форму пластины. В работе Ямалеева К.М. отмечается изменение формы пластинчатого цементита на зернистую форму при увеличении сроков эксплуатации и воздействии изменяющихся циклических нагрузок [4, 5].

Отсутствие информации о природе эволюции цементита в реальном временном диапазоне определило направление и метод исследования.

Изучение механизма структурообразования в трубных сталях ферритно-перлитного класса в зависимости от времени эксплуатации с учетом предыдущего строения фаз, предающих информацию новой форме фаз.

При решении задачи использовали зондовый сканирующий туннельный микроскопа Nano Educator (N T – M D T) и цифровой микроскоп Dino-Lite Digital Microscope AM-311 с разрешением 640x480 пиксель, чтобы сделать невидимое видимым.

Объект исследования: Труба диаметром 720 мм с толщиной стенки 10 мм (сталь 14ХГС) с аварийного участка магистрального газопровода «Муханово-Самара», который эксплуатировался более 50 лет. Труба изготовлена Харцызским заводом Донецкого совнархоза УКРНТИ 182-60 ЧМТУ 5697-56 МК 720 8

Исследованием микроструктуры трубной стали 14ХГС с помощью зондового сканирующего туннельного микроскопа на уровне атомов установлено, что наночастицы (фазы), образующиеся при распаде цементита, взаимодействуя с квантами света при коллективных колебаниях электронов проводимости, приобретают различную окраску.



Рис.1. Микроструктура стали 14ХГС после 50 лет эксплуатации  
(цифровой микроскоп Dino-Lite Digital Microscope AM-311 с разрешением 640x480 пиксель)

Выполненный эксперимент с помощью цифрового микроскопа Dino-Lite Digital Microscope AM-311 показал, что распад цементита сопровождается образованием многофазной структуры. Каждая фаза имеет различную цветовую окраску и зернистую форму (рис. 1). Таким образом, при неизменном элементном химическом составе трубной стали 14ХГС, под воздействием длительной эксплуатации происходит перераспределение компонентов между фазами и дробление пластин цементита.

### Литература

1. *Виноградова Л.А.* Изучение тонких структур материалов магистральных газонефтепроводов. / Четверть века изысканий и экспериментов по созданию уникальных технологий и материалов авиаракетостроения. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. выпуск.-Самара:-УНТЦ ФГУП ВИАМ. т. 3. – 2008. – С. 229–306.
2. *Притула В.В.* Проблемы эксплуатации трубопроводов //Коррозия территории нефтегаз. – 2006. – №2. – С. 56-59.
3. *Ржевская С.В.* Материаловедение-М.:-Университетская книга, Логос. – 2006. –424 с.
4. *Ямалеев К.М.* Старение металла труб в процессе эксплуатации трубопроводов -М.: ВНИИЭНГ, 1990. – 64 с.

УДК 669.174

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ТЕПЛОСТОЙКИХ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЯХ

Евгения Сергеевна Крылова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Плохих,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Совместное протекание полиморфного  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения и структурной перекристаллизации свойственно лишь неупорядоченному механизму образования аустенита. При упорядоченном сдвиговом характере образования аустенита эти превращения не совпадают по температурному интервалу: измельчение аустенитного зерна начинается при температурах, существенно более высоких, чем температура  $A_{c3}$ , и связано с развитием процесса рекристаллизации фазонанаклепанного аустенита. Специфика этого структурного превращения позволяет рассматривать его по аналогии со статической рекристаллизацией, то есть с рекристаллизацией, протекающей после окончания деформации. При этом для многих легированных сталей использование эффекта рекристаллизации

фазонаклепанного аустенита является по существу единственным способом управления их структурой.

До настоящего времени систематических исследований относительно критериев выбора наиболее оптимального структурного состояния аустенита применительно к теплостойким конструкционным сталям мартенситного класса не приводилось. При этом целенаправленным выбором предварительной термической обработки металла можно создавать аустенитную структуру, характеризующуюся различным субструктурным состоянием: фазонаклепанную, полигонизованную, рекристаллизованную, однако для этого необходим детальный анализ специфики процесса рекристаллизации фазонаклепанного аустенита в конкретных сталях. В тоже время легирование железа различными элементами (Mn, Cr, Mo, W) карбидообразующие элементы по сравнению с некарбидообразующими оказывают большее влияние на температуру начала рекристаллизации. По степени влияния эти элементы располагаются в восходящей последовательности в соответствии со степенью их сродства с углеродом и с температурой образования и растворения карбидов.

В качестве основных объектов исследования были выбраны теплостойкие хромсодержащие стали, которые отличались друг от друга содержанием элементов активно участвующих в образование вторых фаз. В работе, методом дифференциального dilatометрического анализа, были изучены особенности структурных превращений в теплостойких хромсодержащих сталях обладающих структурной наследственностью. При этом основная задача исследования состояла в определении условий проявления данного эффекта в зависимости от исходного структурного состояния материала и максимальной температуры аустенитизации. В частности, было установлено влияние исходного химического состава на положение критических точек при прямом  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращении, а также зависимость начала обратного превращения от вида предварительной термической обработки.

### Литература

1. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сталях. – М.: Металлургия, 1982. – 307 с.
2. Садовский В.Д. Структурная наследственность в сталях. – М.: Металлургия, 1973. – 205 с.
3. Счастливец В.Д., Котцева Н.В. ФММ, т. 42. – 1976. – №4. – С. 837.



УДК 621.77.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНО ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Станислав Владимирович Путырский

*Студент 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Плохих,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Перспективным подходом в решении задачи создания субмикро- и наноструктурированных материалов конструкционного назначения, является использование высокопроизводительного метода горячей прокатки компактных многослойных заготовок. Разработка технологии получения подобных материалов является проблемой достаточно сложной, требующей проведения многочисленных экспериментов. Поэтому, для исследования пластической деформации многослойной заготовки в процессе прокатки актуально применение метода конечно элементного моделирования с использованием современных программных комплексов. Метод конечного элемента включает различные подходы, в которых для определения напряжения, деформации и перемещения материал условно разбивают на отдельные элементы, соединённые в узловых точках [1]. Применение такого метода исследования даёт возможность комплексно оценить влияние структурных и технологических факторов на поведение материала при пластической деформации.

Объектом моделирования является процесс, представляющий собой высокотемпературный прокат многослойного сортамента, состоящего из 100 чередующихся между собой слоёв толщиной 0,5 мм, сталей разных марок, с различными механическими свойствами. Количество слоёв каждой марки одинаковое, по 50 в заготовке. по результатам исследования установлена общая закономерность образования оптимальной структуры многослойного материала методом горячей прокатки. Аналитическим образом функционально она может быть выражена следующим образом [2]:

$$L = f(T_p, \Delta\sigma, \varepsilon, v_d, K_r, K_d),$$

L – ламинарность структуры многослойного материала;

T<sub>p</sub> – температура деформирования многослойной заготовки, 0С;

Δσ – разница между величинами сопротивления деформации твердой (т) и мягкой (м) составляющими заготовки, МПа;

ε – степень деформации, %;

v<sub>d</sub> – скорость деформации, с-1

K<sub>r</sub> – коэффициент межслойной релаксации;

Кд – диффузионный коэффициент, при Кд = 1 диффузии легирующих элементов нет, при Кд меньше 1, но больше 0 диффузия есть.

После анализа задачи для моделирования был выбран программный пакет LS-Dyna разработанный для решения задач, предусматривающих значительные пластические деформации.

Моделирование поведения указанных материалов в процессе прокатки, использует результаты металлографических исследований и данные о механических свойствах, полученных на разных стадиях структуризации. Процесс проводится при повышенной температуре. Во время прокатки, слои подвергаются значительным пластическим деформациям. На первых этапах материал является изотропным. В процессе прокатки, зёрна приобретают определённую ориентировку, что отражается в приобретаемой анизотропии механических свойств слоёв. Для моделирования анизотропии свойств выбирается соответствующая модель материала из базы программного комплекса [3, 4].

Процессу прокатки предшествует высокотемпературное компактирование заготовки. Основываясь на проводимых исследованиях соединения слоёв, с целью упрощения задачи мы можем считать связь между слоями неразрывной – границы слоёв деформируются совместно.

При пластической деформации металлические материалы упрочняются. В условиях деформации тонких слоёв при высоких температурах в материале развивается процесс динамической полигонизации и обратный ей процесс рекристаллизации. Это позволяет нам сделать допущение о том, что материал не испытывает деформационного упрочнения и выбрать для моделирования упруго-пластическую модель поведения материала.

### Литература

1. Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. Теория пластических деформаций металлов. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки / МиТОМ. – 2010. – № 6. – С. 44–49
3. LS-Dyna keyword user's manual. LSTC, 2007.
4. LS-Dyna theoretical manual. LSTC, 2006.

УДК 621.7

## СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА СВАРНЫХ ТРУБ ГАЗОПРОВОДОВ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Камила Наильевна Сафарова

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель Л.А. Виноградова,  
доцент кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

Проблема в выборе метода диагностики позволяющей оценить работоспособность действующих магистральных газопроводов без вырезки образцов.

ОСТ153-39.4-010-2002.Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений. п.5.5.Контроль состояния основного металла труб включает измерение твердости основного металла труб с помощью переносных твердомеров с целью определения фактической твердости по шкале Бринелля (НВ) и сопоставления с допустимыми значениями твердости. Массовое распространение и доступность способов измерения твердости (неразрушающего метода контроля), не влияющих на микроструктуру и свойства контролируемого объекта, позволяет создать систему контроля состояния основного металла труб от начала эксплуатации и до наступления предельного состояния.

Практическое применение методики диагностирования и реализация экспресс-оценки микроструктуры основного металла труб по замерам твердости.

Объект исследования: сталь 10, из которой изготовлены трубы надземных газопроводов эксплуатируемые 27 и 40 лет.

При решении задачи пользовались методом профессора НГТУ Скуднова В.А. (Нижний Новгород), который предусматривает связь твердости по шкале Бринелля (НВ) с показателем структурно-энергетического состояния основного материала трубы, характеризующим изменения в структуре металла в процессе эксплуатации. Твердость является характеристикой в этом случае дополняющей (не дублирующей) сопротивление металлов разрушению.

Показатель структурно-энергетического состояния ( $\Pi_{сэс}$ ) рассчитывали по формуле:

$$\Pi_{сэс} = \frac{HB}{\sigma_T} - 2$$

где  $\sigma_T$  -предел текучести железа, принимается примерно 300 МПа.

Измерение твердости основного металла трубы газопровода производилось в локальных зонах по ее длине ультразвуковым измерителем твердости «УЗИТ-2М», предназначенным для оперативного неразрушающего контроля твердости металлов и сплавов по стандартизованным в СНГ шкалам твердости: Роквелла (HRC), Бринелля (НВ).

При неразрушающей диагностике изменения в микроструктуре основного металла труб использовалась зависимость  $P_{сэс}$  структурных составляющих сталей от твердости (табл. 1, 2).

Табл. 1.  $P_{сэс}$  структурных составляющих сталей

Структура	Твердость, НВ, МПа	$P_{сэс}$
Феррит	900...1000	1,0...1,3
Цементит	7000	21,3
Перлит	1600...2300	3,3...5,6
Сорбит	2700...3000	3,3...4,6

Табл. 2.  $P_{сэс}$  перлита в зависимости от формы цементитной фазы

Структура	Твердость НВ, МПа	$P_{сэс}$
Перлит пластинчатый	1900...2300	4,3...5,6
Перлит зернистый	1600...1650	3,3...3,5

Таблица 3. Связь микроструктуры исследуемой стали 10 показателем  $P_{сэс}$

Срок эксплуатации, лет	Марка материала	Твердость трубы, МПа	$P_{сэс}$	Микроструктура
26	Сталь10	1320	2,4	феррит и перлит со смешанными формами цементита
40	Сталь 10		1,7	феррит и перлит зернистый
0 Горячекатаная, нетермо- обработанная (ГОСТ 1050-88)	Сталь 10	1370	2,57	феррит и перлит пластинчатый

Анализ значений  $P_{сэс}$  (таблицы 1, 2, 3), показал, что в структуре увеличивается количество зернистого цементита и изменяется растворимость углерода в феррите. Данный фактор способствует снижению внутренних напряжений в основном материале сварных труб и увеличению ресурса эксплуатации.

### Литература

1. Методы измерения твердости. Определение механических свойств металла газонефтепроводных труб по твердости: методические указания / Р.В.Агинец [и др.] – Ухта: УГТУ, 2007. – 51 с.

**УДК 66-965**

**ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ  
ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПЛАЗМЕННЫМ  
НАПЫЛЕНИЕМ АЛЮМОКЕРАМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ**

Павел Юрьевич Круглов

*Аспирант 1 курса,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»,  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Ю.А. Курганова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Современный уровень развития науки и техники позволил разработать новейшие технологические процессы упрочнения и нанесения защитных покрытий с использованием композитных материалов, являющихся наиболее перспективными конструкционными материалами в машиностроении благодаря комплексу свойств, приобретаемых при совмещении разнородных материалов. Композиционные материалы системы «алюминиевые сплавы - керамические частицы» зарекомендовала себя как перспективный триботехнический материал [1]. Особенностью материалов данной группы являются высокие удельные характеристики механических свойств, стабильные эксплуатационные показатели и возможность формирования не только целостных деталей, но и сложных композиций [2, 3].

Одной из перспективных областей применения инновационных технологий упрочнения и нанесения защитных покрытий является обработка металлов давлением. Рабочие части формообразующего инструмента испытывают сложные напряженные состояния и эксплуатируются в условиях повышенного износа. Формирование поверхностного композиционного слоя на локальных участках инструмента позволит не только повысить эксплуатационные характеристики, но и интенсифицировать процесс формоизменения посредством управления распределением коэффициента трения между инструментом и обрабатываемым материалом. Максимальный эффект предполагается достигнуть на процессах вытяжки с утонением стенки и последующей обрезки донной части. Например при вытяжке с утонением деталей коробчатой формы (рис. 1).

С целью обеспечения заданного уровня эксплуатационных характеристик, предложено осуществление напыления композиционного покрытия состава ( $Al_2O_3 + SiC$ ) с использованием газовых разрядов, возбуждаемых в контролируемой среде, в которой производится напыление. При этом процесс активации напыляемой поверхности и плазменного напыления совмещаются в одном вакуумном объеме. Новизной данного метода является напыление материалов разного фазового и размерного состава, а так же разработанный и ранее не используемый для композитных смесей способ напыления.



Рис. 1. Деталь коробчатой формы

Экспериментальная часть ведется в Саратовском Государственном Техническом Университете при поддержке д.т.н., президента научно-промышленной ассоциации “Плазма Поволжье”, профессора В.Н. Лясникова [4].

В результате всестороннего исследования полученных образцов, предполагается используя механизмы моделирования оптимизировать режимы напыления, фазовый и фракционный составы напыляемых композиций и провести лабораторные и натурные испытания, на базе лаборатории металлографии Ульяновского конструкторского бюро приборостроения [5-6].

#### Литература

1. *Калита В.И., Комлев Д.И.* Плазменные покрытия с нанокристаллической и аморфной структурой. М.: Лидер М, 2008.-388 с.
2. *Калита В.И., Гнедовец А.Г., Комлев Д.И.* Формирование пористости при плазменном покрытии // ФизХом, 2006, №6, с. 26-31.
3. *Кудинов В.В.* Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Машиностроение, 1993. – 488 с.
4. *Лясников В.Н.* Проектирование электроплазменных технологий и автоматизированного оборудования / В.М. Таран, С.М Лисовский, А.В. Лясникова - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 206 с.
5. *Панталеенко Ф.И., Любецкий С.Н.* Материалы, технология и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Ч.1 Наплавка и напыление. - Новополюцк, 1994. – 116 с.
6. *Бородин И.П.* Материалы 11 международной научно-практической конференции «Ресурсо-сберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин» – СПб 2009. – 252с.

УДК 669-1

## СРАВНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ И МИКРОСТРУКТУРЫ ГРАНУЛ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Мария Юрьевна Бехтина

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.О. Базалева,  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В последние годы успешно развивается технология производства ответственных деталей авиационных, ракетных, морских и промышленных газотурбинных двигателей (ГТД) из гранулированных жаропрочных никелевых сплавов. Разработанные сплавы различающихся как по содержанию легирующих элементов, так и по методу получения гранул. Важными микроструктурными параметрами, оказывающими существенное влияние на свойства деталей, являются размеры и характер пористости, количество карбидной фазы и другие. Скорректировать влияние этих параметров на свойства сплава возможно подбором наиболее рационального режима термической обработки (спекания).

Объектами исследования в данной работе были гранулы никелевых жаропрочных сплавов ЭП741НП и ЭИ698П. Химический состав данных сплавов приведен в табл. 1 и 2.

Табл. 1. Химический состав гранул сплава ЭИ698П

Массовая доля содержания химических элементов, %										
C	S	P	Al	Cr	Fe	Mn	Mo	Nb	Ti	
0,049	< 0,007	< 0,015	1,54	14,0	0,60	< 0,01	3,19	2,20	< 0,10	2,47

Табл. 2. Химический состав гранул сплава ЭП741НП

Массовая доля содержания химических элементов, %													
Co	C	S	P	Al	Cr	Fe	Mn	Mo	Nb	Si	Ti	W	Hf
16,0	0,066	<0,009	<0,015	5,0	9,0	0,50	<0,5	4,0	2,6	<0,50	1,8	5,6	0,2

Задачей данной работы являлось проведение сравнительного анализа морфологии и структуры гранул этих сплавов, полученных методами газоструйного распыления расплава и центробежного распыления плазмой быстровращающегося электрода.

В работе оценивались средний размер, сферичность гранул, величина дендритного параметра, пористость, наличие карбидных фаз. Исследования проводились с использованием методов растровой электронной микроскопии (РЭМ, растровый электронный микроскоп КУКУ-2800В), а также микрорентгеноспектрального анализа (МРСА, спектрометр «NORAN»).

В результате сравнительного анализа были зафиксированы различия в морфологии гранул и в микроструктуре. Гранулы сплава ЭИ698П, полученные

методом газоструйного распыления имеют меньший средний размер, большее количество несферичных гранул, малое количество междендритных включений по сравнению с гранулами ЭП741НП, полученными методом центробежного распыления. Пробы различаются и по характеру пористости.

### Литература

1. Методики лаборатории металлофизических исследований Всероссийского института легких сплавов.
2. *Зиновьев В.А., Гарибов Г.С., Казберович А.М., Востриков А.В.* Новый режим термической обработки дисков из гранул сплава ЭИ698П. / Технология легких сплавов, 2007. - № 1. - С. 75–80
3. *Гарибов Г.С., Востриков А.В.* Новые материалы из гранул для дисков перспективных газотурбинных двигателей. / Технология легких сплавов, 2008. - № 3. - С. 60–6

**УДК 54.03**

## **ВЛИЯНИЕ ФОКУСИРОВАННОГО ИОННОГО ПУЧКА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СЛОИ ЛЕНТЫ ИЗ СПЛАВА $Ti_2NiCu$**

Мария Юрьевна Бехтина

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.О. Базалева,  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Уникальным изделием, разработанным на основе сплава с эффектом памяти формы (ЭПФ)  $Ti_2NiCu$ , является микропинцет рекордно малых размеров, разработанный в лаборатории магнитных явлений ИРЭ им В.А. Котельникова. Габаритные размеры инструмента составляют 3...10 мкм. Этот инструмент предназначен для механической манипуляции микро- и нанообъектами. Микропинцет изготавливается из ленты сплава  $Ti_2NiCu$  полученной методом спиннингования. Затем в камере ионного микроскопа фокусированным ионным пучком (ФИП) из ленты вырезается микроинструмент. Далее, на его поверхность напыляется слой платины.

На сегодняшний день метод ФИП наиболее эффективный способ изготовления миниатюрных изделий различной формы. Однако влияние ФИП на структуру и свойства сплава  $Ti_2NiCu$  не исследованы. Основной задачей данной работы является изучение воздействия ФИП на поверхностный слой сплава  $Ti_2NiCu$ . Объектом исследования является лента сплава  $Ti_2NiCu$  подвергавшаяся воздействию ФИП при различных параметрах (варьировали ток и напряжение).



Для решения задачи была создана группа образцов при помощи метода ионного травления на установке Strata™ FIB 201. Структурные особенности исследовались при помощи просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на установке JEM 2100. Ускоряющее напряжение 200 кэВ.

Для подготовки образца для ПЭМ была использована система Strata™ FIB 201 с галлиевым источником ионов. Под воздействием ФИП в образце были вытравлены по две траншеи с токами пучка 150 пА, 350 пА, 1000 пА, при подаваемом высоковольтном напряжении 20 кВ и 30 кВ размерами 3x3, 5x5, 10x10 мкм<sup>2</sup> и глубиной 1 и 2 мкм. Схематическое описание образцов приведено на рис. 1.

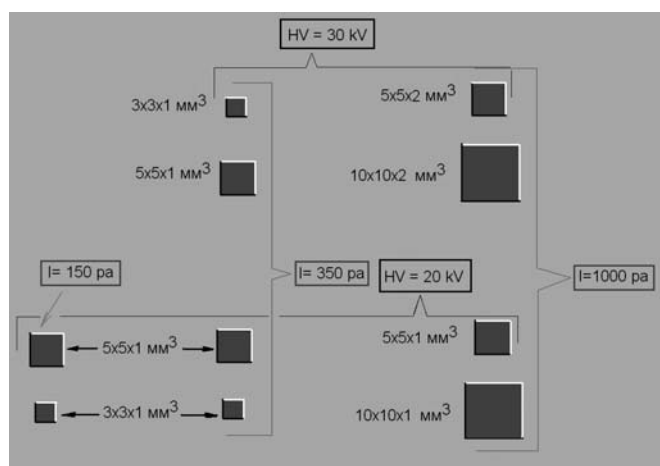


Рис. 1. Схематическое изображение тестового образца для ПЭМ

На следующем этапе, для того чтобы не допустить дополнительных воздействий ФИП на исследуемые области, методом магнетронного распыления была нанесена защитная пленка золота. В дальнейшем планируется придерживаться изложенной ниже методики. С помощью ионного травления вытравливаются кратеры с обеих сторон от площадок травления с напылением золота (рис. 2).

Далее образец при помощи ионного травления отрезается и микроманипулятором переносится на полусетку для просвечивающего микроскопа. Методом ПЭМ проверяется наличие аморфизовавшегося слоя сплава Ti<sub>2</sub>NiCu вдоль фронта воздействия ФИП. Производится оценка его толщины.

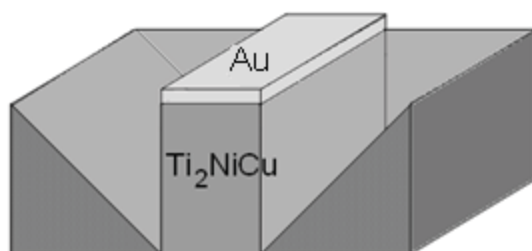


Рис. 2. Схематическое изображение вытравливания кратеров на образце

## Литература

1. Савенко А.Ю. Исследование процессов локально-селективной обработки материалов и элементов электронной техники наноразмерным ионным пучком: автореф. дис. ... к. т. н. – Спб.: ЛЭТИ, 2008.
2. Лучинин В.В., Савенко А.Ю. Фокусированный ионный пучок как технология локального прецизионного травления / Вакуумная техника и технология. – Спб.: 2008. – Т.18. – №3.

УДК 53.084.823

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ Al – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Ирина Николаевна Кондратьева

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т.В. Соловьева,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Композиционные материалы отличаются от обычных сплавов высокими значениями временного сопротивления и предела выносливости (на 50...100 %), модуля упругости, коэффициента жесткости и пониженной склонностью к трещинообразованию. Применение этих материалов повышает жесткость конструкций при одновременном снижении ее металлоемкости.

Среди композиционных материалов важное место занимают материалы с дисперсно-упрочняющей фазой, к числу которых относится фиброксил, где слои из чистого алюминия чередуются со слоями из частиц Al + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Целью работы является получение и исследование листового слоистого материала системы Al + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с высокой удельной прочностью. Поставлены следующие задачи:

- разработать концепцию получения слоистого материала с дисперсно-упрочняющей фазой;
- провести выбор материала составляющих композита с различным соотношением Al и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- исследовать структуру и механические свойства композита;
- исследовать влияние содержания оксида алюминия на послойную деформацию и механические свойства.

Поскольку в фиброксиле, чем тоньше алюминиевая фольга, тем выше его функциональные характеристики, была предложена следующая технологическая схема: сделать набор пластин из алюминиевой фольги и совместно прокатать их, доведя толщину слоя до микро – и наноразмеров. При этом на каждую пластину предварительно нанести слой оксида алюминия.

Так как оксид алюминия по сути своей является неметаллическим включением и поэтому, естественно, с алюминием не образует металлической связи (адгезии), если на алюминиевую фольгу нанести только Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, то в процессе прокатки может произойти расслоение композита.

В связи с этим большой научный интерес представляет вопрос о том, каким по толщине должен быть слой из оксида алюминия, чтобы при деформации пластичный алюминий проник в слой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а жесткие частицы оксида алюминия внедрились в алюминиевую основу, и, тем самым, обеспечили бы достаточную прочность соединения слоев между собой. Поэтому изучение переходной зоны между слоями имеет большое значение.

Было предложено искусственно создать переходную зону из смеси порошков алюминия, размер частиц которых составил 20...40 нм и оксида алюминия с размером частиц 15...30 нм. При приготовлении смесей, суспензия была нанесена на одну из сторон алюминиевой фольги. Используются различные объемные соотношения порошков: 99% Al и 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 97% Al и 3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 95% Al и 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 90% Al и 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 85% Al и 15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 75% Al и 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50% Al и 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В работе был исследован температурный интервал 350...500 °С, степень обжатия в диапазоне 5...12 %. Исходя из прочности соединения без расслоений оптимальными были приняты следующие показатели: температура 400 °С, степень обжатия за проход 8...10 % на стане «Дуо», 5...7 % - на стане «Кварто». В результате прокатки пакетов были получены слоистые полосы толщиной 0,3 мм.

Были проведены испытания на растяжение на машине «Инстрон» с компьютерной обработкой результатов.

Наибольшие значения прочностных характеристик достигаются в образцах с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 7 до 10%. Следовательно, дальнейшие исследования следует вести в этой области.

Разрабатываемый материал может быть использован в моторо-, турбино-, ракетостроении, авиастроении в качестве обшивки фюзеляжей. Также рассматривается возможность использования фиброксила в качестве легкой брони.

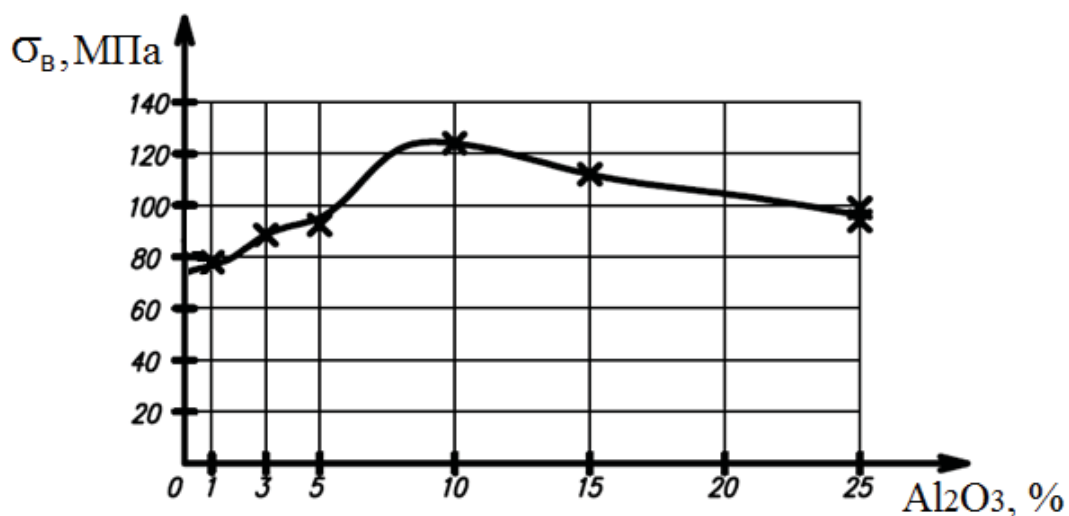


Рис. 1. Предел прочности фиброксила в зависимости от содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Литература

1. Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1978. – 192с.
2. Дриц М.Е., Каданер Э.С., Торопова Л.С., Копьев И.М. Структура и свойства легированной алюминиевой фольги. – М.: Металлургия, 1975. – 184 с.
3. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Силаева В.И. Материаловедение. Учебник для технических вузов. 5-е издание. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 646 с.

УДК 669...867

## **ЖАРОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ, НА ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ**

Валерия Игоревна Коннова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.А. Мубояджиан<sup>(1)</sup>, Л.В. Тарасенко<sup>(2)</sup>,  
доктор технических наук, начальник лаборатории защитных покрытий для деталей  
ГТД ГНЦ ФГУП «ВИАМ»<sup>(1)</sup>,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана<sup>(2)</sup>*

В настоящее время совершенствование и увеличение мощности газотурбинных двигателей (ГТД) происходит за счет увеличения температуры газов перед турбиной. Проблема увеличения долговечности деталей является одной из важнейших задач в машиностроении. Для изготовления самых напряженных деталей в горячем тракте, которыми являются лопатки турбин, применяются никелевые жаропрочные сплавы. Повышение жаропрочных свойств достигалось главным образом путем комплексного легирования сплавов. В процессе эксплуатации лопатки подвергаются высокотемпературной газовой коррозии, в результате которой происходит избирательное окисление легирующих элементов, и образование на поверхности обедненной зоны. В результате значительно снижается прочность деталей, что приводит к их преждевременному разрушению. Поэтому, наряду с повышением жаропрочных свойств этих сплавов, не менее важным является повышение жаростойкости. Так как увеличение жаростойкости без снижения жаропрочных характеристик сплава в настоящее время не представляется возможным, то наиболее перспективным является применение жаростойких покрытий.

В данной работе проводится сравнение образцов с разными методами нанесения покрытия.

1. Газо-циркуляционный метод.
2. Вакуумный ионно-плазменный метод.

В качестве основы был выбран жаропрочный никелевый сплав ЖС6У.

Для нанесения вакуумным ионно-плазменным методом использовался сплав ВСДП-11(Ni-Al-Si-Y), разработанный в ВИАМ.

В работе приведен гравиметрический анализ, металлографический анализ, представлен график зависимости удельного изменения массы образцов от времени при  $t=1000^{\circ}\text{C}$ . Анализ микроструктуры и толщины диффузионных покрытий проводился на оптическом металлографическом микроскопе «Olympus».

По результатам испытаний на жаростойкость покрытий, нанесенных различными методами, показывают, сделан вывод, что вакуумный ионно-плазменный метод нанесения покрытий обеспечивает лучшую стойкость окислению при высоких температурах ( $1000^{\circ}\text{C}$ ).

### Литература

1. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. / Под общей ред. Е.Н.Каблова. – 2-е изд. – М. : Наука, 2006. – 632 с.
2. Самсонов Г.В. Защитные покрытия на металлах. - 1969.

**УДК 620.22**

## **ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ ЧАСТИЦАМИ SiC Al-МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Александра Александровна Шумова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Курганова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время улучшение лётно-тактических характеристик, снижение веса конструкций в условиях высокого нагружения деталей (обшивки, лонжеронов, нервюр, панелей) и узлов летательных аппаратов остается одной из основных задач модернизации авиационной и космической промышленности.

На современном этапе научно-технического прогресса наиболее широкое распространение получили композиционные материалы (КМ) - объемные гетерогенные системы, состоящие из сильно различающихся по свойствам, взаимно нерастворимых двух или более компонентов, разделенных ярко выраженной границей.

Композиционные материалы с матрицей из алюминиевых сплавов являются невероятно легкими, обладают хорошими литейными свойствами и легко подвергаются механической обработке. Они характеризуются повышенными значениями удельной прочности и жесткости при сохранении высокой демпфирующей способности. Введение в алюмо-матричные композиты армирующих частиц SiC микронных размеров с резко отличной от матрицы твердостью не только повышает износостойкость сплавов, но и обеспечивает нормальное протекание процессов трения и износа в широком диапазоне параметров нагружения. Использование КМ с алюминиевой матрицей является весьма экономичным из-за относительной дешевизны алюминия и обеспечено обширной сырьевой базой для получения исходных компонентов.

Исследованию подвергались образцы из композитных материалов с матрицей из алюминиевого деформируемого сплава Д16 (дюралюмин) и различным процентным содержанием упрочняющих частиц карбида кремния SiC: 20%, 30%, 40% SiC, полученные с помощью порошковой технологии механического легирования. В ходе работы была изучена технология изготовления образцов, на

кафедре «Материаловедение» в МГТУ им. Н.Э. Баумана была проведена их пробоподготовка, осуществлен ряд измерений значений микротвердости по Викерсу, исследована структура поверхностного слоя КМ, ее фазовый состав и однородность распределения зерен карбида кремния в образцах.

Были получены графики зависимости изменения микротвердости образцов в зависимости от процентного содержания упрочняющих фаз и сделаны выводы о значительном увеличении микротвердости алюминиевого деформируемого сплава Д16 после введения упрочняющих частиц карбида кремния.

### Литература

1. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Металлургия, 1988. – 235 с.
2. *Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кокорин М.В.* Изменение свойств алюмоматричных композиционных материалов, дисперсно упрочненных частицами керамики. – 2004. – №4. – С. 30-32.

УДК 621.785

## ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ: КАРБОНИТРАЦИЯ. СТРУКТУРА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КАРБОНИТРИДНЫХ СЛОЁВ СТАЛИ 25Х2М1Ф

Анжелика Эдуардовна Гордей

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.И. Гришин,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Широкое применение в последнее время находят низкотемпературные процессы поверхностного упрочнения в расплавах солей, такие как карбонитрация (насыщение поверхности детали азотом и углеродом в жидких средах). Эта технология часто используется взамен азотирования, а в сочетании с двойным оксидированием и вместо гальванического хромирования.

Основными компонентами ванны карбонитрации являются цианат (KNCN) и карбонат калия (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Была проведена работа по поиску оптимального процентного содержания поташа (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) в составе ванны. Испытания проводились на стали 25Х2М1Ф. Были сделаны выводы:

- Износостойкость выше при обработке в ванне с низким содержанием поташа (20%K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- При обработке в ванне с 40% содержанием K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> коррозионная стойкость выше, так как образовывается плотная оксидная плёнка Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Из исследований структуры и фазового состава стали 25Х2М1Ф после карбонитрации было выявлено, что на поверхности образуется упрочненный слой, состоящий нескольких зон: зона  $\epsilon$ -карбонитрида типа  $\text{Fe}_3\text{N}$ , под которым располагается зона  $\gamma'$ -фазы типа  $\text{Fe}_4\text{N}$ , толщина этих двух зон составляет 11 мкм. Диффузионная зона (гетерофазный слой), толщиной 105 мкм, состоит из твердого раствора углерода и азота в железе с включениями карбонитридных фаз, при подробном исследовании диффузионного слоя в нём были обнаружены и идентифицированы дисперсные частицы разной морфологии и разных размеров – нитрид ванадия VN (10...50 нм) и карбид молибдена  $\text{Mo}_2\text{C}$  (200...250 нм). а также выделения  $\epsilon$ -нитрида  $\text{Fe}_3(\text{N,C})$  толщиной 1...5 мкм. В зоне  $\alpha$ -твердого раствора специальных карбидов типа  $\text{Me}_7\text{C}_3$  не обнаружено (рис. 1).

Часто после карбонитрации проводят оксидирование, так как это значительно повышает коррозионную стойкость. После данной операции на поверхности образуется плотный оксидный слой ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), который и является ответственным за коррозионные свойства. Его толщина порядка 5...7 мкм (рис. 2).

Процесс карбонитрации прост в осуществлении. Чаще всего, в зависимости от требуемых свойств, он состоит из трёх основных составляющих: подогрев детали, обработка в расплавах солей и оксидирование (рис. 3).

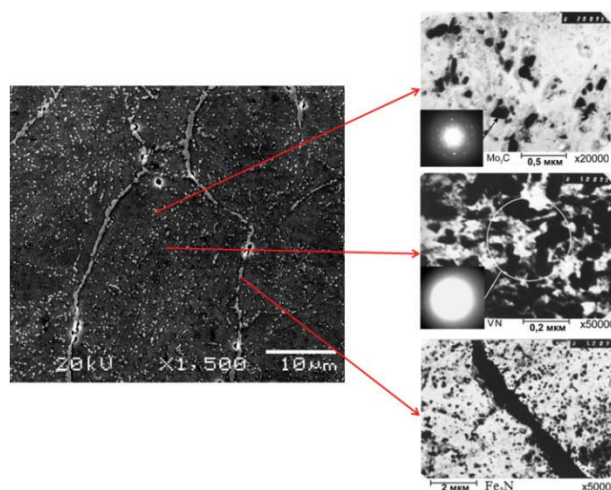


Рис. 1. Структура диффузионного слоя стали 25Х2М1Ф после карбонитрации

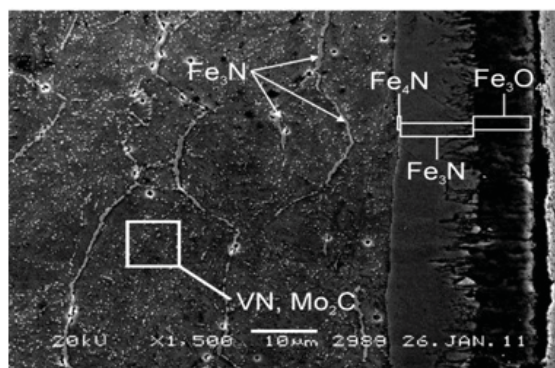


Рис. 2. Тонкая структура стали 25Х2М1Ф после оксикарбонитрации.  
Режим обработки: карбонитрация  $T=580^\circ\text{C}$ ,  $\tau=1.5$  ч + оксидирование  $T=370^\circ\text{C}$ ,  $\tau=0.25$  ч.

По итогам проведённой работы было получено представление о закономерности образования фаз карбонитридного слоя, были сделаны выводы о преимуществе использования ванны с 20 % содержанием  $K_2CO_3$  и последующим проведением оксидирования.

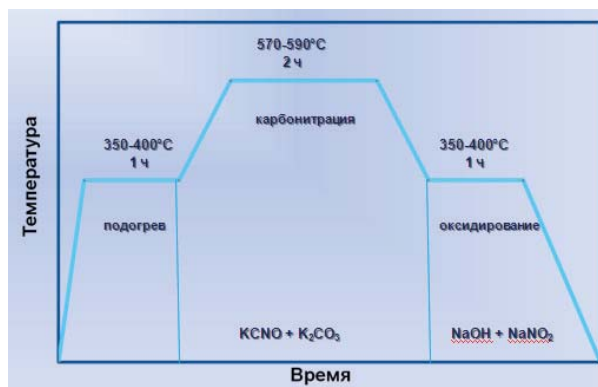


Рис. 3. Технологическая схема процесса карбонитрации

### Литература

1. Libasch R. Harder Stainless Practikal. Steel, 1958, v. 142, № 28
2. Прокошкин Д.А. Химические и термические методы обработки стали. - М.-Л.: ОНТП, 1938.
3. Прокошкин Д.А. Теория и практика цианирования быстрорежущих сталей. - М.: ВНИИТОМ, 1940.
4. Prospekt. Tenifer Degussa, Abteilung Durferrit, Frankfurt am Main, 1964
5. Ulrich Baudis, Michael Kreutz. Technologie der Salzschnmelzen. - Изд-во «verlag modern industrie», 2001. - 82с.

УДК 620.1

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРИП-СТАЛИ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНОЙ МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Анастасия Валерьевна Кузнецова<sup>(1)</sup>, Светлана Александровна Кораблева<sup>(2)</sup>

Студентка 5 курса<sup>(1)</sup>, аспирантка 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана<sup>(1)</sup>,  
Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и  
материаловедения имени А.А. Байкова РАН<sup>(2)</sup>

Научный руководитель: В.Ф. Терентьев,  
доктор технических наук, профессор лаборатории прочности и пластичности  
металлических и композиционных материалов и наноматериалов,  
Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и  
материаловедения им. А.А. Байкова РАН



В настоящей работе исследовали статическую и циклическую прочность трип – стали системы С – Ni – Cr в аустенитном состоянии и после предварительной деформации и последующего старения.

В качестве материала исследования использовалась горячекатаная пластина (подкат) из трип – стали толщиной 3 мм следующего состава: 0,213C; 0,664Si; 0,988Mn; 5,84Ni; 15,1Cr; 2,99Mo; 0,007S; 0,024Ti; 0,011Al; 0,126N<sub>2</sub>; 0,008P; 0,007S; вес. %. Механические свойства при статическом растяжении и усталостную прочность при повторном растяжении определяли на одних и тех же образцах с рабочим сечением 20x7x3 мм. Образцы, запаянные в кварцевую ампулу с вакуумной средой, нагревали до температуры 1100<sup>0</sup>С (выдержка – 1 час) затем охлаждали в воде (серия 1 - исходное состояние). В исходном состоянии после закалки (серия 1) образцы были практически в чисто аустенитном состоянии. Часть образцов после термической обработки закалкой деформировали на 10% при статическом растяжении и затем нагревали при температурах 400, 550 и 650<sup>0</sup>С в течение 1 часа (серии 2, 3 и 4 соответственно).

Были получены следующие механические свойства исследованных образцов: серия 1 (закалка) –  $\sigma_b=632$  МПа,  $\sigma_{0,2}=542$  МПа,  $\delta=24,3\%$ ; серия 2 (закалка, деформация, нагрев 400<sup>0</sup>С) -  $\sigma_b=762$  МПа,  $\sigma_{0,2}=870$  МПа,  $\delta=37,6\%$ ; серия 3 (закалка, деформация, нагрев 550<sup>0</sup>С) -  $\sigma_b=815$  МПа,  $\sigma_{0,2}=547$  МПа,  $\delta=42,9\%$ ; серия 4 (закалка, деформация, нагрев 650<sup>0</sup>С) -  $\sigma_b=865$  МПа,  $\sigma_{0,2}=495$  МПа,  $\delta=52,2\%$ . Долговечность до разрушения при максимальном напряжении 550 МПа составила 3400, 3750, 4800 и 7000 циклов соответственно.

Из данных механических свойств, следует, что минимальный уровень механических свойств наблюдается у исходных образцов после закалки (серия 1). Предварительная деформация и последующий нагрев в интервале температур 400<sup>0</sup>С – 650<sup>0</sup>С довольно резко повышает прочностные характеристики и относительное удлинение. С повышением температуры старения предварительно деформированных образцов трип – стали долговечность в области малоциклового усталости возрастает. Это связано с повышением, как прочностных механических характеристик, так и с повышением пластичности.

### Литература

1. Терентьев В.Ф., Кораблева С.А. и др. Механические свойства трип-стали после различной механико-термической обработки. // Научно-технический семинар «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов». Москва. 26-28 октября 2011г. Тезисы докладов. – М: НИТУ «МИСиС», 2011. - С. 125-113.
2. Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенитом. - М.: Металлургия, 1988. - 256 с.
3. Уваров А.И., Васечкина Т.П. Дисперсионно – твердеющие стали на железоникелевой основе с метастабильны аустенитом // Физика металлов и металловедение. 2001. - том 92. - № 4. - С. 85 – 96.
4. Добаткин С.В., Рыбальченко О.В., Рааб Г.И. Формирование субмикроструктурной структуры в аустенитной стали 0X18H10T при РКУ прессовании и нагреве – Металлы, 2006. - №1. – С.48 – 54.
5. Olson G.B., Chait R., M. Azrin M. and et. Al. Fatigue Strength of TRIP Steels // Metallurgical Transactions A, 1980, vol. 11 A, June, P.1069 - 1071

6. Robertson L.T., Hilditch T.B., Hodgson P.D. The effect of prestrain and bake hardening on the low – cycle fatigue properties of TRIP steel // International Journal of Fatigue, 2008. - 30, P. - 587 – 594.

7. Потехин Б.А. - ФММ, 1979. - т. 48, вып.5 . - С. 1058 - 1076

**УДК 620.1**

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ ТИПА ВКС-180 С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Наталья Александровна Якушева

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: А.Б. Шалькевич<sup>(1)</sup>, Л.В. Тарасенко<sup>(2)</sup>,  
кандидат технических наук, начальник лаборатории высокопрочных  
конструкционных и коррозионностойких сталей ФГУП «ВИАМ»<sup>(1)</sup>,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана<sup>(2)</sup>*

В настоящее время для разработки деталей ГТД конструкторами и материаловедцами ведется активный поиск новых материалов для валов турбин, превосходящих по прочностным параметрам (при сохранении характеристик надежности) традиционно применяемые мартенситные стали ЭП517 и ЭП866 [1].

Высокопрочные стали в плане современного самолета продолжают занимать существенное место и составляют 15...20 % от его общей массы. Поиск новых композиций сталей и сплавов привел к созданию нового класса высокопрочных материалов – мартенситностареющих сталей, появившихся в конце 20 века [2].

В настоящее время, по данным зарубежных источников, мартенситностареющие стали применяют для изготовления тяжело нагруженных деталей: узлы двигателей, деталей рефрижераторных и криогенных установок.

В качестве перспективных материалов, которые обладают требуемым комплексом механических свойств и характеристик надежности, для изготовления валов двигателей могут рассматриваться высокопрочные конструкционные мартенситностареющие стали (ВКС) системы легирования Fe-18Ni-8Co-5Mo-Ti. Во Всероссийском институте авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ») для возможного решения этой задачи, была разработана мартенситностареющая сталь с 18% Ni, обеспечивающая предел прочности  $\sigma_B = 1720...1865$  МПа, работоспособная до температур 400 °С (ВКС-180) (Патент RU № 2334017).

Многочисленные исследования, выполненные в ФГУП «ВИАМ» по разработке составов, освоению металлургического производства высокопрочных низкоуглеродистых конструкционных мартенситностареющих сталей, показали, что

наименее газонасыщенный и наиболее чистый металл получается при использовании «дуплекс» вакуумной выплавки: вакуумно-индукционная выплавка с последующим вакуумно-дуговым переплавом - «ИД» (ВИ + ВДП). Такой способ выплавки сталей рассматриваемой системы легирования обеспечивает содержание углерода на уровне  $C \leq 0,02 \%$ . Однако, даже при столь низком содержании углерода, мартенситностареющие стали склонны к образованию выделений карбонитридов по границам зерен, что вызывает снижение пластичности. Поэтому одной из перспективных задач по улучшению свойств является снижение содержания углерода до  $C \leq 0,01 \%$  [1].

Одним из самых эффективных способов получения высококачественных металлов является применение прогрессивных металлургических методов, в первую очередь – электронно-лучевого переплава (ЭЛП). В отечественной металлургии более эффективным является «дуплекс» метод выплавки «ИЛ», включающий вакуумно-индукционную выплавку с последующим электронно-лучевым переплавом (ВИ + ЭЛП), позволяющий получить в 18% Ni мартенситностареющих сталях  $C \leq 0,01\%$  [3].

Для стали ВКС-180ИД во ФГУП «ВИАМ» был разработан режим термической обработки, состоящий из охрупчивания (замедленное охлаждение с высоких температур), высокотемпературной закалки при температурах нагрева 1100...1200 °С для растворения охрупчивающих выделений, 3-х кратной закалки при температурах нагрева ~ 950 °С для измельчения зерна, низкотемпературной закалки с  $780 \pm 10$  °С для повышения коррозионной стойкости и старения при температуре 500...540 °С для обеспечения уровня прочности  $\sigma_B = 1720...1865$  МПа, соответствующего твердости 49,5...52 HRC. После закалки с 1100...1200 °С границы зерен без охрупчивающих выделений, величина зерна соответствует 2...3 баллу шкалы ГОСТ 5639. После 3-х кратной закалки обеспечивается измельчение зерна до ~ 7 балла.

В задачу настоящей работы входила разработка режима термической обработки для стали ВКС-180, изготавливаемую методом выплавки «ИЛ» (ВИ + ЭЛП), который бы обеспечивал получение однородной и мелкозернистой структуры с размером зерна ~ 7 балла по ГОСТ 5639 [1].

Поиск возможности снижения температуры первой закалки при сохранении комплекса механических свойств и характеристик надежности позволит повысить как энергоэффективность процесса термической обработки, так и технологичность стали ВКС-180 в производстве.

Были проведены исследования микроструктуры после термической обработки с различной температурой первой закалки. Микроструктуру оценивали на металлографическом микроскопе «Olympus» GX-51 после электролитического травления шлифов по ГОСТ 5639.

После этого были проведены испытания на растяжение по ГОСТ 1497-84 для определения пластичности ( $\psi$ ) стали ВКС-180ИЛ в поперечном направлении после полной термической обработки с высокотемпературной закалкой при температурах 1000...1100 °С.

Результаты, полученные на данном этапе работ, показывают перспективность дальнейших исследований по упрощению режимов термической обработки стали ВКС-180ИЛ.

### Литература

1. *Шалькевич А.Б., Маркова Е.С., Покровская Н.Г.* «Мартенситностареющая сталь ВКС-180 – перспективный материал для двигателей ГТД», сборник лекций «Материал и энергосберегающие технологии для производства ответственных деталей высокоэффективных газотурбинных двигателей, промышленных энергетических силовых установок и приводов». - ФГУП «ВИАМ», 2010. - 115с.

2. *Перкас М.Д., Кардонский В.М.* Высокопрочные мартенситно-стареющие стали. - Изд-во «Металлургия», 1970. - 224с.

3. *Ревякина О.К., Петраков А.Ф., Сачков В.В., Щербаков А.И.* Усовершенствование мартенситностареющих сталей на основе системы Fe-Ni-Co-Mo-Ti, Металловедение и термическая обработка металлов. - Изд-во Машиностроение, 1981. - 65с.

4. Научно-технический сборник. Вопросы авиационной науки и техники. Авиационные материалы. - Высокопрочные стали, 1986. - с.1-124 (ВИАМ)



**Секция №9**  
**Промышленный дизайн**

## **ДИЗАЙН АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ СОРЕВНОВАНИЙ «ЕВРОБОТ»**

Ярослава Андреевна Барменкова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.М. Михеева,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Проект дизайна учебно-лабораторного автономного мобильного робота был выполнен в рамках дипломного проекта по специальности «Промышленный дизайн» в МГТУ им. Н.Э. Баумана на основе разработки студентов факультета «Робототехнические системы» для соревнований «Евробот 2011». Дизайн-решения направлены на улучшение качеств робота, необходимых для победы, на обеспечение безопасной эксплуатации и транспортировки и на повышение престижа команды на соревнованиях международного уровня. Кроме этого, работа имела целью осмысление дизайна и стилистики робототехники во всех сферах жизнедеятельности – промышленной, бытовой, военной, – так как роботы всё больше заполняют собой жизненное пространство, но не всегда имеют эстетичный, дружелюбный для человека вид.

Было предложено 2 дизайнерских решения, в основе которых лежат 2 разных способа производства для реализации одного экземпляра робота. В первом варианте допускается более свободная работа над формообразованием, но производство такого корпуса в единичном экземпляре повлечёт за собой и большие расходы, так как предполагает выращивание на 3D принтере. Второй вариант может быть изготовлен на опытном заводе МГТУ из стали толщиной 1,5 мм, вес корпуса при этом составит около 4500 г.

Оба варианта учитывают достаточно жёсткие требования конкурса и ряд ограничений, установленных инженерами-разработчиками:

- маяк не должен быть ничем закрыт ни с одной из сторон;
- на боковых стенках должны быть предусмотрены отверстия для датчиков;
- должен быть обеспечен быстрый доступ к внутренним элементам;
- должна быть предусмотрена возможность положить робот на бок;
- должна быть минимальная переделка существующей компоновки и несущей конструкции.

А также решают проблемы, выявленные в исходной модели:

- необходимо было избавиться от слишком острых углов;
- найти стиль и соответствующий образ;
- идентифицировать переднюю и заднюю стороны робота;
- распределить кнопки управления и дисплей с учётом требований эргономики и условий эксплуатации.

**УДК 338.242.2**

## СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УСЛУГАМИ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА

Андрей Игоревич Кленин

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Финансы»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Соколов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Финансы»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Развитие рыночной экономики в России на современном этапе оказывает воздействие не только на хозяйствующие субъекты, но и на высшие учебные заведения. Реформирование экономических отношений проявилось в деятельности ВУЗов в сокращении объема финансирования, повлекшее за собой необходимость увеличения доли внебюджетных поступлений за счет самостоятельной экономической деятельности, приносящей доход.

Переход к рыночным методам хозяйствования формирует новые требования к организации работы ВУЗов. Сложившаяся в России система управления образовательными услугами высших учебных заведений в настоящее время не соответствует в полной мере своему социальному предназначению по подготовке специалистов.

Недостаточное финансирование учебных заведений создает предпосылки к стоимостной оценке подготовки специалистов, требующей минимального количества затрат. Отсутствие обоснованных рекомендаций по функционально-структурной организации высших образовательных заведений приводит к диверсификации образовательной деятельности, неправильной оценке уровня спроса на вновь открываемые специальности, несоответствию материально-технической и кадровой обеспеченности лицензионным требованиям и, как следствие, к несостоятельности кафедр, факультетов и даже учебных учреждений.

Вышеизложенные положения обуславливают важность и объективную необходимость исследования и разработки различных современных подходов к совершенствованию управления образовательными услугами. Создание эффективной системы управления, соответствующей различным видам образовательных услуг и способствующей повышению профессионального уровня подготовки специалистов, является важной и актуальной задачей.

Процесс создания системы управления образовательными услугами высшим учебным заведением можно рассмотреть на примере программы подготовки специалиста в области промышленного дизайна. Современные социально-экономические отношения, технологическая и информационная революции, сложившийся образ жизни способствуют интенсивному росту количества промышленных дизайнеров. Спрос, как в количественном, так и качественном аспекте, не соответствует в полной мере предложению. Это связано с отсутствием высокого профессионального уровня у специалистов данной области.



Смена приоритетов и направлений, общества, эры технического прогресса на экологическую эпоху формирует новые требования организации образовательными учреждениями подготовки специалистов-дизайнеров. Для этого необходим эффективный системный подход к современному управлению образовательными услугами, направленный непосредственно на улучшение качества процесса обучения ВУЗа и дающий студентам возможность развивать собственный потенциал, как в пределах, так и за пределами образовательных программ. Использование системы управления образовательными услугами позволяет уменьшить потери от ошибок, связанных с принятием организационных решений руководством ВУЗа при подготовке специалистов в области промышленного дизайна.

### Литература

1. Волков И.К. Случайные процессы. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. - М: Наука, 2009.
3. Поршнева А.Г. Управление организацией. - М.: ИНФРА, 2003.
4. Советов Б.А. Моделирование систем. - М: Высшая школа, 1985.
5. <http://www.gks.ru> - официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации.

**УДК 621.86/87**

### **3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

Елена Ильинична Королева

*Студентка 4 курса,  
кафедра «Системы автоматизированного проектирования»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.Ю. Сафин,  
ассистент кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Роботы проектируются, конструируются и производятся в самых разных странах. Для кого-то роботы – потребность, для других – специальность, для кого-то роботы – просто хобби.

Робот – это автоматическое устройство, предназначенное для осуществления производственных и других операций, обычно выполняемых человеком.

В настоящее время существует огромное количество разных типов и видов роботов. Остановимся на промышленных роботах.

Промышленные роботы находят широкое применение в научных исследованиях и промышленном производстве. Под понятием промышленный робот подразумевается автоматический программно-управляемый манипулятор, выполняющий рабочие операции со сложными пространственными перемещениями. Рассмотрим наиболее распространенные виды промышленных роботов:

- Сварочные роботы
- Роботы для плазменной резки
- Роботы для дуговой сварки
- Роботы для контактной (точечной) сварки
- Роботы для паллетирования

Современные средства 3D визуализации становятся всё более функциональными, они позволяют реализовать любые задумки дизайнера. Благодаря таким известным программным пакетам как Technomatix, его приложению Robcad, а также другим промышленным САПР, стала возможной разработка, симуляция, анализ, оптимизация, off-line программирование роботизированных и автоматизированных технологических процессов.

3D визуализация обеспечивает решение различных производственных задач, в числе которых:

- производство деталей
- планирование и проверка сборки
- имитационное моделирование и оптимизация систем и бизнес-процессов
- управление качеством и геометрической точностью
- управление производственным процессом
- моделирование роботизированных техпроцессов промышленных роботов
- соответствие требованиям эргономики
- обеспечение технологичности
- повышение производительности
- сокращение сроков подготовки производства

Пакеты решений для трехмерного моделирования, анализа и автоматизированной подготовки производства позиционируются на рынке как решения для устранения разрыва между автоматизацией проектирования и непосредственным изготовлением изделия. При этом производится проектирование техпроцессов и их выполнение на основе ассоциативной модели данных. Определение оптимальных способов производства, учет технологических особенностей с этапа проектирования изделий, моделирование реальных технологических процессов в виртуальной среде – все это становится реальным, благодаря роботизированным САПР.

### Литература

1. *Козырев Ю. Г.* Промышленные роботы: Справочник // - М. : Машиностроение, 1988. – 392с.
2. *В.И. Захарова и М.П. Васильева* Промышленные роботы. - М.: 1992 – 286 с.

## **СИСТЕМА ПАНОРАМНОЙ РЕГИСТРАЦИИ МЕСТНОСТИ**

Екатерина Андреевна Круглова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.М. Михеева,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В задачу проекта ставилось адаптировать разработку кафедры к реальным условиям взаимодействия пользователя со сканирующим устройством и поиска соответствующего дизайнерского решения.

Идея проекта состоит в объединении разрозненных частей системы в единое целое с возможностью мобильного перемещения и легкого быстрого изменения вертикальных размеров установки, учитывая особенности использования прибора и эргономики.

Разработанная модель 3Д-сканера проверялась методом сценарного моделирования процесса пользования устройством, которое позволило подтвердить правомерность принятых решений и оценить результат в целом с точки зрения потребительских характеристик всей системы.

В результате дизайнерской разработки удалось найти простое решение ряда пользовательских проблем и заключить все составляющие сканера в лаконичную и целостную форму, создав образ современного устройства, а также добиться стилового единства разнохарактерных элементов системы. Решены проблемы использования, выявленные в процессе исследования. Время процесса съемки уменьшается за счет сокращения времени на подготовительные и промежуточные операции.

Устройство снабжено дополнительной нижней емкостью, в нее помещен аккумулятор, который в прежнем решении оператору приходилось носить на поясе (3 кг) в течение всей работы. Емкость также можно использовать для перевозки и хранения различного оборудования (вспышки, дополнительной камеры для быстрой съемки в цвете) или для личных вещей оператора.

## СТАН ПРОКАТКИ ПРЕССОВАНИЕМ

Николай Юрьевич Островский

*Студент 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: А.С. Синельников<sup>(1)</sup>, А.Г. Колесников<sup>(2)</sup>,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»<sup>(1)</sup>,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Оборудование и  
технологии прокатки»<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Прокатный стан создан для получения прутка ультра-мелко-зернистой структуры. Данное устройство является перспективной разработкой МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В результате эргономической проработки изделия оптимизированы обслуживание стана и работа на нём.

Бетонное основание заменено рамной конструкцией закрепленной на стальной плитовине, что удешевило конструкцию, снизило её вес, повысило технологичность.

Применение перфорированного материала повысило безопасность эксплуатации и создало организованное место хранения, обеспечило возможность конвекционного охлаждения.

Кожух позволил защитить персонал от случайных травм, улучшил внешний вид стана, вместе с новой станиной передал разработке целостное стилистическое решение.

При этом удалось добиться легкого доступа к муфтам и учесть теплотехнические требования к конструкции. Удалось повысить удобство работы с муфтами, обеспечит легкую смену валков стана.

Разработана система управления прокатным станом, основанная на применении планшетного компьютера с сенсорным управлением, сертифицированного для промышленного и военного применения.

Система управления может быть реализована в мобильном или стационарном варианте.

УДК 629.361

## ВОЗМОЖНОСТИ ДИЗАЙНА В ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Илья Владимирович Селиванов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.А. Синельников,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Аномальная жара лета 2010 года спровоцировала невероятное количество пожаров на территории всей Центральной России. Множество крупных городов заволочило смогом от горящих лесов и торфяников. И столичный регион не стал исключением. На протяжении многих недель Москва была затянута дымом, и порой его плотность была, как при разгоне демонстраций.

Известно, что тушение лесных и торфяных пожаров сопровождается рядом дополнительных сложностей:

1. Труднодоступность очага
2. Отсутствие поблизости источника воды большой емкости
3. Непредсказуемость поведения огня на открытой местности

На данный момент наиболее эффективным является использование авиатехники для тушения такого рода пожаров. Однако наряду с высокой эффективностью этот способ обладает и высокой стоимостью. Указанные условия подтолкнули специалистов кафедры «Промышленный дизайн» к идее проектирования машины повышенной проходимости и обладающей большой грузоподъемностью для тушения природных пожаров.

Параллельно с этим от фирмы «Аква-Пиро-Альянс» на кафедру МТ-4 поступило предложение на проектирование пожарного автомобиля, использующего иной способ тушения. В этой технологии основным пламегасящим веществом также является вода, но определенным образом подготовленная. Для этого ее под большим давлением (от 130 до 200 атм.) нагревают до температуры 160...210 °С. При последующем выбросе воды в таком состоянии в атмосферу из пожарного ствола специальной конструкции образуется чрезвычайно плотный туман из мелкодисперсных капель диаметром 1...5 микрон, гораздо меньших капель природного тумана. Такая вода называется термически активированная (ТАВ). Борьба с огнем струями ТАВ обладает гораздо большей эффективностью по сравнению с обычными методами тушения – 3 куб. м воды хватает на 45...50 минут работы, и при этом плотное облако вытесняет кислород, сбивая пламя и способствуя самоугасанию очагов, включая скрытые. Эта технология разрабатывается уже с начала 90-х годов, но созданные автомобили на ее базе все еще далеки от совершенства.

Очевидно, что объединение новой технологии пожаротушения с автомобильной базой повышенной проходимости представлялось весьма

перспективным, потому было принято решение дальнейшую разработку вести в данном ключе.

На этапе дизайн-анализа был проведен опрос пожарных на тему имеющихся недостатков существующей машины. В процессе интервьюирования было выяснено, что тушение струями ТАВ чрезвычайно эффективно в городской черте, но недостаточно подходит для борьбы с лесными и торфяными пожарами. В связи с этим было принято решение акцентировать внимание на доработке, а по факту – на серьезной переделке существующего автомобиля.

Имеющаяся компоновка оборудования в кузове была проработана недостаточно тщательно, что усложняло и без того непростой процесс эксплуатации машины, вынуждая боевой расчет совершать множество ненужных действий, увеличивая количество времени на подготовку к тушению. Для экстренной службы, от которой зависят жизни людей, трата времени впустую – непозволительная роскошь.

Ниже представлены возможные варианты перемещения членов боевого расчета для подготовки системы к работе:

В результате полного дизайн-анализа был очерчен весьма обширный круг проблем, которые необходимо решить, прежде чем можно было бы ставить автомобиль на дежурство в пожарные части, не боясь гневных отзывов использующих его пожарных. Также нужно было сохранить удачные компоновочные решения и не нарушить рассчитанный баланс системы.

В процессе дизайн-проектирования было предложено много различных вариантов компоновки имеющегося оборудования, избавляющих от тех или иных недостатков, однако, наиболее оптимальным стало решение, при котором три стандартные покупные пластиковые емкости для воды заменялись на одну специальной конструкции. Эта простая идея стала фундаментом проекта и позволила в дальнейшем решить все поставленные задачи.

Итоговым результатом работы стала новая компоновка, удовлетворяющая всем требованиям, выдвинутым на этапе дизайн-анализа.

Экономия времени на развертывании позволит спасти не одну жизнь, а работать со спроектированной с учетом эргономики системой гораздо удобней.

Перемещение экономайзера дало много места для оператора. Спроектированная емкость более органично и компактно вписывается в КУНГ. Наклонное дно позволяет полностью слить воду, отсутствуют проблемы с наполнением через гидрант.

При такой компоновке центробежный насос находится возле зоны работы оператора, в связи с этим для запуска установки нет необходимости выходить из КУНГа, что позволяет ускорить процесс запуска системы.

Новая емкость позволила увеличить на 300 мм транспортно-пассажирский отсек, в котором теперь стало гораздо просторней.

Специальный стеллаж позволяет упорядочить хранение имеющегося в избытке дополнительного оборудования.

Новая компоновка предоставляет еще целый ряд преимуществ, помимо указанных выше. Таким образом, дизайн-проект пожарной машины позволил создать автомобиль более удобный для решения тех задач, которые на него могут быть возложены во время боевого дежурства.

## ЭРГОДИЗАЙН РАБОЧЕГО МЕСТА РУКОВОДИТЕЛЯ

Дарья Дмитриевна Спасская

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Системы обработки информации и управления»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: Н.Ю. Терехова<sup>(1)</sup>, Б.С. Горячкин<sup>(2)</sup>,  
доцент кафедры «Промышленный дизайн»<sup>(1)</sup>, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Системы обработки информации и управления»<sup>(2)</sup>,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Понятие «эргодизайн» является сложным, состоящим из двух понятий: «эргономика» и «дизайн», которые часто воспринимаются и существуют независимо друг от друга. Определений этих понятий достаточно множество, они существуют и используются в зависимости от области их применения и назначения.

Эргономика – наука, комплексно изучающая закономерности взаимодействия человека с техническими средствами, предметом деятельности и средой. Человек, техника и среда рассматривается в эргономике как сложное функциональное целое, в котором ведущая роль принадлежит человеку. При проектировании такой сложной системы «человек-техника-среда», уделяется серьезное внимание всем ее компонентам, а не только техническим средствам, которые на стадии их простой практической «подгонки» к человеку становятся значимыми компонентами этой системы.

Дизайн - это современное, модное и широко употребляемое понятие. Дизайн подразделяют на истинный дизайн, функционализм, стилизацию и стайлинг. Истинный дизайн - создание изделий на основе технических требований, передовых основ эргономики, системного, функционального и композиционного анализа, а форма изделия в этом случае наиболее точно отображает его практическое назначение. Функционализм - формообразование изделия на основе совершенствования его функций, стилизация - конструирование внешнего вида нового изделия по существующему образцу, а стайлинг- конструирование изделий отличающихся от своих аналогов лишь внешним видом.

Соединением вышеперечисленных понятий и знаний стал эргодизайн.

Целью эргодизайна рабочего места руководителя является повышение эффективности деятельности при сохранении здоровья и всестороннем развитии личности.

Проектирование рабочего места современного руководителя достаточно трудоемко и затратно, так как должно производиться индивидуально. В условиях бурного развития и появления новой техники деятельность руководителя становится все более сложной и напряженной. По данным статистики, надежность выполнения человеком все более усложняющихся функций уменьшается, поэтому увеличение надежности технической составляющей сложной системы теряет смысл, так как надежность всей этой системы лимитируется также надежностью самого человека.

Трудовая деятельность руководителя будет успешной и физически безопасной и во многом зависит не только от согласованности действий людей в

коллективе, но и определяется условиями организации рабочего пространства и его рабочего места.

Современное рабочее место руководителя, который работает при сильном воздействии на него информационного шума, должно отвечать требованиям безопасности труда, быть удобным, соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям.

## МАКЕТИРОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Иван Алексеевич Филатов

*Студент 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.М. Михеева,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Макетирование, как предмет, рассказывающий о создании макетов и прототипов.

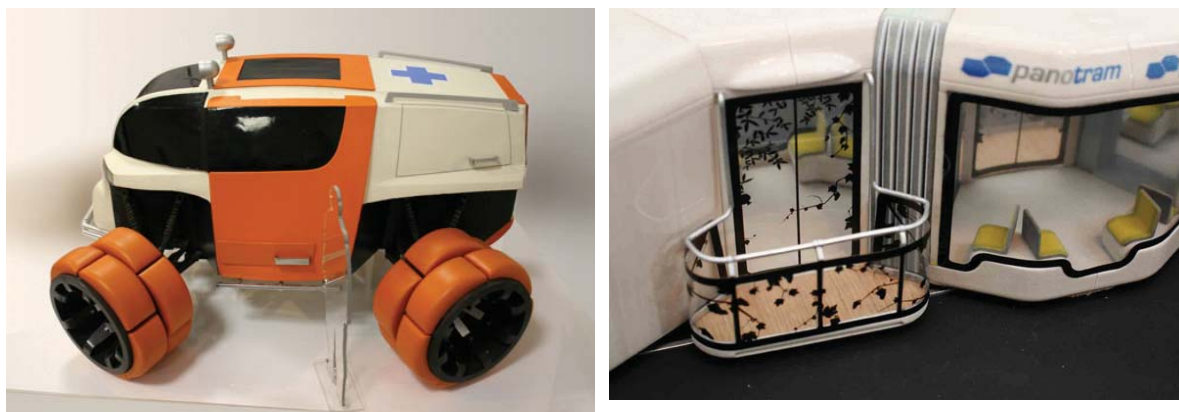


Рис. 1. Роль макетирования в промышленном дизайне





Рис. 2. Как это было раньше  
и как происходит сейчас

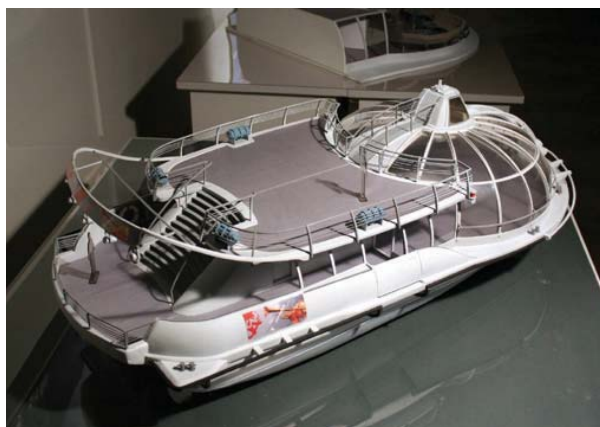


Рис. 3. Самые современные тенденции  
в изготовлении макетов и прототипов



Рис. 4. Что нас может ждать в будущем в этой сфере

## **УСТАНОВКА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ JETSPRAY**

Андрей Александрович Яшин

*Студент 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: М.А. Синельников, М.М. Михеева,  
старшие преподаватели кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Инженерная разработка установки газопламенного напыления велась на кафедре «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э.Баумана. Коллективом кафедры был создан рабочий образец установки, который успел завоевать несколько медалей на

международных выставках по технологии, но проигрывал по внешним и эргономическим показателям. Цель дизайн-проектирования – обеспечить ручное использование установки, которое не было предусмотрено, и комфортные условия работы.

Варианты решений поставленных задач отрабатывались на нескольких поисковых макетах, с помощью которых была найдена оптимальная версия. Была предложена рукоятка, которая может вращаться относительно точки крепления на 48 градусов, а также накладка из плотной ребристой резины, которая помогает обеспечить высокую точность направления установки и повысить безопасность ее использования.

## **ДИЗАЙН-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА**

Наталья Игоревна Сафонова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.М. Михеева,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Дизайн-исследование выполнено с целью разработки дизайна модульного многофункционального терминала в соответствии с техническим заданием, выданным компанией ООО «ПК Аквариус».

Замечательная идея появилась однажды у сотрудников компании «Аквариус» – спроектировать многофункциональный модульный терминал с упором на государственные услуги, который был бы снабжен сканером, принтером и другими функциями. Попытки реализации задумки привели, в первом случае, к созданию гигантского шкафа с телефонной трубкой, а во втором, к созданию «робота-пришельца с массивными ногами».

В настоящее время происходят качественные изменения в области предоставления услуг для населения и бизнеса. Переход к государственным услугам, оказываемым в электронном виде, сегодня является одним из приоритетов для правительства и органов исполнительной власти. С этим связано повсеместное появление электронных терминалов оказания государственных услуг (Инфоматов).

Процесс предоставления услуг строится на основе активного использования возможностей современных сетей передачи данных, в том числе сети Интернет. С этой целью используется “Портал государственных и муниципальных услуг”, что позволяет:

- повысить их качество и доступность;
- упростить процедуры и сократить сроки их оказания;
- снизить административные издержки со стороны граждан, связанных с получением государственных услуг;

- внедрить единые стандарты обслуживания граждан; сократить присутствие граждан при оказании услуг;
- повысить прозрачность процесса оказания услуг для гражданина;
- снизить вероятность возникновения ошибок и опечаток при ручном заполнении заявлений;

Кроме того, 1 января 2012 года началась выдача гражданам России универсальных электронных карт для обеспечения им доступа к государственным, муниципальным и иным услугам. Устанавливается информационный терминал там, где пользователю удобно получить необходимую информацию, оплатить определенную услугу:

- Государственные учреждения.
- Административные учреждения.
- Медицинские учреждения.
- Банки.
- ВУЗы.
- Центры занятости населения.
- Торговые комплексы.
- Выставочные комплексы.
- Музеи.
- Развлекательные центры.
- Кинотеатры и др.

Актуальность модульной конструкции обусловлена наличием достаточно большого списка потенциальных заказчиков, а значит и их требования к комплектации терминала могут отличаться.

В ходе дизайн-исследования был произведен анализ исходного образца, пользовательский анализ многофункционального терминала компании «Ростелеком», рассмотрены существующие аналоги и тенденции.

Терминал (инфомат) установлен в фойе Центрального Телеграфа и представляет собой инструмент доступа к сайту госуслуг с возможностью оплаты, печати и сканирования. Сенсорный экран находится на комфортной высоте. Вертикальное расположение экрана удобно для чтения документов. Недостаток этого состоит в том, что так экран занимает больше места по вертикали, поэтому некоторые функциональные элементы размещены слишком низко. Интерфейс достаточно понятен. В нижней части экрана находятся сенсорные кнопки для осуществления навигации по страницам сайта, кнопка печати, активизации сенсорной клавиатуры, видео- и аудиосвязи с оператором. Все функциональные элементы подписаны. PIN-клавиатура размещена в небольшой нише слева под экраном. Слева от нее расположен приемник для магнитных карт. Купюроприемник находится справа. Остается непонятным, почему чековый принтер расположен в центре всей композиции функциональных элементов. Для связи с оператором предусмотрена WEB-камера. Она размещена по центру над экраном. И если ваш рост ниже 170 см, то во время видеосвязи оператор будет наблюдать только верхнюю половину вашего лица. Под экраном также есть микрофон.

Иногда для получения государственных услуг необходимо отсканировать паспорт или другой документ. В инфомате установлен сканер и принтер формата А4. К сожалению, попытка полноценно изучить их работу не увенчалась успехом. На нажатие кнопок ни тот, ни другой не отреагировали. Пришлось сделать звонок оператору. На вопрос: «Как воспользоваться принтером?» Оператор ответила: «Принтер не работает. Воспользуйтесь своим домашним принтером». Тем не менее на фотографиях видно, что устройства сканирования и печати расположены неудобно – приходится наклоняться или присаживаться, чтобы правильно ставить паспорт, вытащить распечатанный лист из принтера.

Анализ тенденций в области проектирования терминалов показал, что ведущие производители стремятся к уменьшению габаритов и упрощению архитектуры, пытаются максимально приблизить внешний вид своих киосков к облику продукции компании «Apple».

Уже почти все разобрались, где и как лучше расположить функциональные элементы (купюроприемник, клавиатуру, термопринтер и пр.), чтобы пользователю было удобно. Но, увы, все что мы чаще всего видим перед собой – это шкаф с монитором.

На мой взгляд, пора уходить от темы шкафов, тем более, когда появляется идея модульности и многофункциональности. Всегда можно воспользоваться методом от противного: взять всю «начинку» и вывернуть ее наружу, сделать более очевидным и доступным то, что все обычно пытаются скрыть.

### Литература

1. Мунипов В. М., Зинченко В. П.. Эргономика. Учебник. – Логос, 2001, 356 с.
2. Ульрих К., Эппингер Ст. Промышленный дизайн. Создание и производство продукта. – Вершина, 2007, 448 с.
3. Папанек Виктор. Дизайн для реального мира, – М.: Д. Аронов; 2004.

## ДИЗАЙН-РАЗРАБОТКА КУХНИ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ КВАРТИР

Александра Юрьевна Свиридова

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Синельников,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Без кухни немислимо представить никакое человеческое жилище, даже отъявленные ненавистники готовки тоже порой хотят кушать.

Но какая она — идеальная кухня? Безусловно, сколько людей, столько и мнений, но вот беда — зачастую призрачный идеал разбивается о суровую действительность тяжелого прошлого нашего народа, выраженную в небольших по площади квартирах и, соответственно, малогабаритных кухнях.

С ускорением научно-технического прогресса проблема нехватки и нерационального использования места встает особенно остро. Все больше и больше новых электрических и механических помощников по хозяйству необходимо разместить на все той же площади. А большинство проектов кухонь рассчитаны на установку в комнате размером с небольшой стадион, что совершенно непригодно для российских квартир со стандартной площадью кухни 6 м<sup>2</sup>.

Поэтому в качестве цели проекта выступает проектирование кухни, занимающей небольшое пространство, удобной в установке для любой типовой

квартиры, пригодной к использованию как одним человеком, так и целой семьей как в качестве места для приготовления пищи, так и для приема гостей.

Исследования существующих бытовых приборов, а также концептуальных кухонь и новых тенденций в области приготовления и хранения пищи показали, что в процессе приготовления, хранения и приема пищи возникают следующие проблемы:

- Неудобная кухонная мебель (приходится постоянно нагибаться, наклоняться и тянуться к шкафам и полкам).
- Плохая логистика (приходится бегать по всей кухне в процессе приготовления пищи).
- Неудобная сантехника (посуда не помещается в раковину, ее негде сушить).
- Слишком много техники (кухня начинает напоминать серпентарий из проводов).
- Разделение места для приготовления пищи с местом для ее потребления (трудно одновременно готовить и общаться с друзьями).
- Непродуманная система хранения посуды (кастрюли не помещаются на полочке, чтобы достать казанок надо звать бригаду атлетов в помощь).

Анализ схем взаимодействия человека и кухни показал, что в процессе готовки наиболее часто приходится прибегать к составляющим, связанным с водой: раковина, горячая/холодная вода, а также к рабочей поверхности. Это привело к концепции кухни, в которой нет необходимости бегать из угла в угол — вращающейся кухни с постоянным доступом к воде.

Кухня представляет собой свободно вращающиеся друг относительно друга поверхности, закрепленные относительно центральной оси. Это позволит чистить картошку, не боясь, что за спиной убегают молоко для каши. Центральную варочную поверхность можно закрыть крышкой из того же материала, что и столешница, если требуется место, например, для больших семейных ужинов или для приготовления тазика оливье.



Столешница состоит из восьми частей, каждую из которых можно убирать, открывая общую, также вращающуюся, раковину. Последняя свободно вмещает в себя стандартные тарелки, поэтому может быть использована в качестве места хранения посуды. Такая раковина избавляет от необходимости постоянно бегать к источнику воды.

По краю вытяжки встраивается освещение.

Кухня может служить местом как для приготовления, так и для приема пищи. Она может быть как островной, так и пристенной, а ее габариты позволяют разместить ее даже в стандартной кухне 6 м<sup>2</sup>.

### Литература:

1. Эргономика в дизайне среды Автор: В. Ф. Рунге, Ю. П. Манусевич  
Издательство: Архитектура-С Год: 2007, 328 с.
2. Вудсон У., Коновер Д.. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов, - М.: Мир, 1968, 518 с.
3. Папанек Виктор. Дизайн для реального мира, - М.: Д. Аронов; 2004.
4. Норман Дональд. Дизайн промышленных товаров. - М.: Вильямс, 2008.
5. Ульрих К., Эппингер Ст. Промышленный дизайн. Создание и производство продукта. –Вершина, 2007, 448 с.
6. Мунипов В. М., Зинченко В. П.. Эргономика. Учебник. - Логос, 2001, 356 с.
7. Giuseppe Costanza. MA Communication Design, Digital Media, 2008.

**УДК 004.383.1**

## **ДИЗАЙН-ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ИНФОРМАЦИОННО-ПЛАТЕЖНЫХ ТЕРМИНАЛОВ**

Елена Сергеевна Паршина

*Студентка 6 курса,  
кафедра «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.М. Михеева,  
старший преподаватель кафедры «Промышленный дизайн»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Целью дизайн-проекта является разработка дизайна линейки информационно – платежных терминалов с различным набором функций для различных потребностей и мест пользования.

Разработка модельного ряда информационно-платежных терминалов началась с технического задания компании ООО «ПК Аквариус», являющейся российским производителем компьютерной техники (ПК, ноутбуки, серверы, мониторы, системы хранения данных и т.д.). На основе своего оборудования компания выпускает терминалы различного назначения. В условиях жесткой конкуренции с аналогичными компаниями, специалисты Аквариуса разработали и запатентовали «многофункциональный модульный терминал», предназначенный для предоставления пользователям информационно-справочных услуг, обеспечения

работы с платежными системами, выполнение банковских операций, работы с устройствами печати и сканирования, предоставление пользователям государственных услуг в электронном виде, а также заказали натуральный опытный образец. Однако полученные результаты не устроили руководство компании, и было принято решение продолжить исследование и разработку концепции терминалов с помощью кафедры «Промышленный дизайн» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Не смотря на то, что специалистами Аквариуса разрабатывался модульный терминал, так как именно модульность была преимуществом по сравнению с конкурирующими фирмами, со стороны Аквариуса жесткого ограничения по конфигурации терминала не было. Поэтому было принято решение создать модельный ряд терминалов с индивидуальными функциями для каждого из них в виду того, что универсальные (модульные) терминалы часто оказываются избыточными для тех, кто их приобретает, и соответственно экономически невыгодными. В результате и сами специалисты заказчика в процессе работы представили свою линейку терминалов.

С развитием интерактивных технологий и интернета, все больше появляется аппаратов, компьютеров «общественного пользования». Не так давно при оплате коммунальных услуг нужно было выстоять очередь в несколько часов, чтобы уточнить необходимую информацию, очень часто требовалось, чтобы кто-то более опытный из очереди помог это сделать и прояснил возникающие вопросы. Технологии не стоят на месте, поэтому на данный момент появилась возможность оплатить квитанцию или ознакомиться с интересующей информацией через терминалы самообслуживания. Такие терминалы появляются в аэропортах, супермаркетах, в зданиях железнодорожных вокзалов, в банках. Все имеют совершенно различные функции – одни предоставляют информацию, другие возможность самостоятельно зарегистрироваться на рейс или оплатить проезд, третьи предоставляют комплекс услуг.

В ходе дизайн-исследования по созданию модельного ряда информационно-платежных терминалов стало понятно, что наиболее неосвоенной является сфера информационных терминалов, в частности городских, представляющих собой навигационный центр по городу с подключенным Интернетом, с необходимыми сайтами или разработанным специально интерфейсом. Такие терминалы могут быть установлены не только на улице, но и в метро и в зданиях вокзалов. И уже с этого вида терминала, должна развиваться линейка остальных моделей. Разработанный же Аквариусом макет информационного терминала больше относится к платежным терминалам для банков, для оплаты квитанций с помощью банковских карт. Это направление, на мой взгляд, уже устаревает, так как выпуск и обслуживание банковских карт экономически затратно, невыгодно банкам и неудобно пользователям. На данный момент всё большей популярностью пользуется интернет-банкинг. Городские информационные терминалы могут иметь выход и на сайты банков, однако это потребует дополнительной безопасности для самого терминала.

### Литература

1. *Папанек Виктор*. Дизайн для реального мира, - М.: Д.Аронов; 2004
2. ТУ 4012-001-55017660-2009; Терминалы самообслуживания «AquaTerminal»
3. <http://aq.ru/>
4. <http://www.gosuslugi.ru/ru/>

**Секция №10**  
**Оборудование и технологии прокатки**



УДК 621.774.3

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ

Елена Владимировна Лагошина<sup>(1)</sup>, Александр Евгеньевич Комков<sup>(2)</sup>

*Студентка 6 курса<sup>(1)</sup>, студент 5 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Отличительной особенностью холоднодеформированных труб является высокая точность размеров стенки и чистоты поверхности.

Точность наружной поверхности и внутреннего диаметра определяется параметрами калибрующего участка, степенью деформации, величиной подачи и настройки инструмента. Важно правильно выбрать метод калибровки рабочего инструмента - распределение частных обжатий по длине рабочего хода валков, определяемое формой и размерами ручьев оправки.

Существует два основных направления в методах калибровки инструмента станов холодной прокатки труб валкового типа. Первое направление характерно тем, что в основу расчета профиля гребня положено определенное изменение относительной деформации, учитывающее значительное снижение пластичности металла в процессе прокатки. При определении профиля гребня ручья по второму методу исходят не из принципа максимального использования пластических свойств металла, а из условия постоянства давления металла на валки.

Станы холодной прокатки труб в основном специализированы для прокатки тонкостенных труб и труб из малопластичных сталей и сплавов, склонных к трещинообразованию в процессе деформации. Поэтому при холодной прокатке труб целесообразно использовать калибровки, построенные по принципу учета пластических свойств металла, такие как: метод НИТИ-НТЗ (методика расчета, предложенная сотрудниками УкрНИТИ и НТЗ), метод Ю.Ф. Шевакина и т.д.

Были рассмотрены методики, расчет которых производится с учетом определенного изменения относительных деформаций по длине ручья. Проведены расчеты калибра рабочего инструмента и энергосиловых параметров. На их основе построены графики и проведен сравнительный анализ. Даны рекомендации по применению того или иного способа калибровки рабочего инструмента.

### Литература

1. Кофф З.А., Соловейчик П.М., Алешин В.А., Гриншпун М.И. Холодная прокатка труб. – Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии. Свердловское отделение, 1962г.
2. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А., Самусев С.В. Технология трубного производства. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002.

УДК 621.771

## ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ

Иван Игоревич Лубнин

Студент 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Г.С. Никитин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

С 1987 по 1989гг. Mannesmann Demag провела испытания по литью плоской заготовки на модифицированном литейном агрегате с двумя ёмкостями для разливки в отделении Mannesmann Steelworks, Дуйсбург, Германия. В результате, новая технология прокатки слитка в сочетании с хорошо зарекомендовавшим себя методом непрерывного литья позволяет получать продукцию необходимого качества. На МНЛЗ производится слиток толщиной минимум 15мм или слиток, который может быть прокатан с относительно небольшими затратами на стане.

Свойства материалов, полученных при прокатке литьём тонких полос (слябов) такие же, как полученные традиционной прокаткой. Слитки имеют хорошее качество и являются продуктом для продажи с диапазоном толщины 10-35 мм. Более тонкая полоса получается на прокатном стане.

Линия для получения тонких полос непрерывным литьём и прокаткой разработана итальянской компанией Finarvedi. Чтобы связать две стадии процесса, агрегат имеет печь-моталку Cremona Vox и линию чистовых клетей кварто.

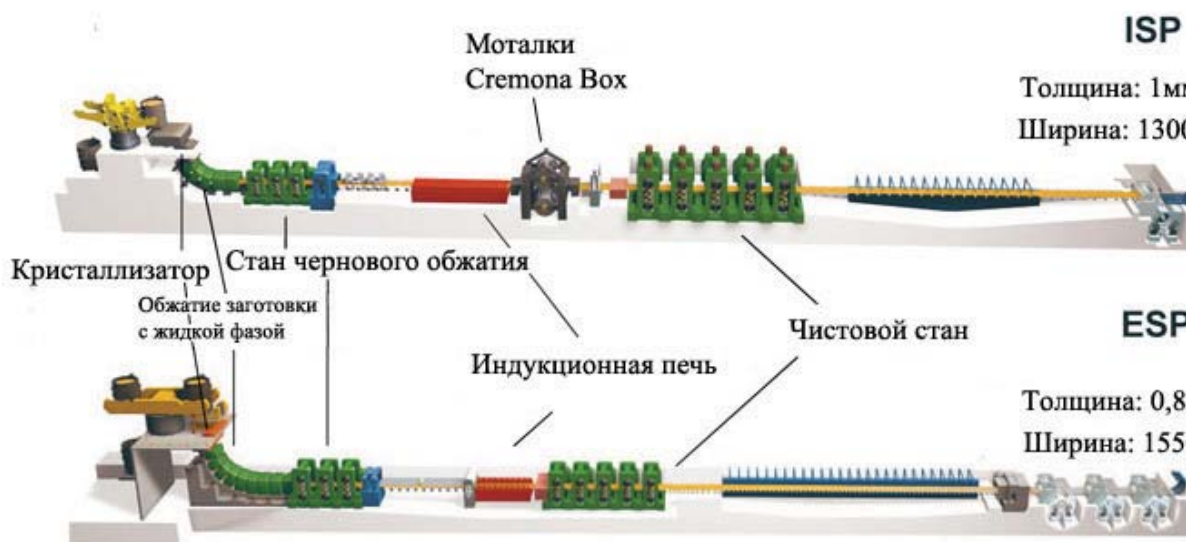


Рис.1 Компоновочная схема при процессах ISP и ESP

При производстве горячей полосы используют технологию непрерывного литья и последующее уменьшение толщины в нескольких группах клетей. Этот процесс назван ISP – Inline strip production (или поточное производство полосового проката), и развит совместно фирмами Mannesmann Demag и Arvedi. Данный агрегат сконструирован для производительности 500 тыс. тонн в год из которых 200 тыс. полос из нержавеющей стали.

На одноручевой МНЛЗ производятся тонкие слябы шириной 650...1330 мм. Толщина сляба в кристаллизаторе: 60 мм и минимум 15 мм на выходе из последней пары валков машины. Длина сляба зависит от массы рулона (20 кг/мм). Максимальная скорость литья в кристаллизаторе – 6 м/мин и 16 м/мин на выходе из последней пары валков литейной машины. В чистовой группе производится горячая полоса толщиной от 1,7 до 12 мм в зависимости от марки стали, толщины и ширины сляба.

Агрегат для производства тонких слябов, состоящий из машины непрерывного литья, индукционной печи, печи-моталки Cremona Vox и четырех-клетевого чистового прокатного стана кварто, имеют следующие достоинства:

- Компактная конфигурация цеха за счет прямого соединения МНЛЗ через индукционный нагрев и технологии намотки к чистовому прокатному стану: итоговая длина агрегата, начиная от сталеразливочного ковша и до конечной моталки, составляет примерно 180м;
- Оптимальное использование тепла слитка для процесса прокатки, что обеспечивает постоянную температуру сляба в первой клетки чистового стана;
- Повышение механических характеристик и качества производимой продукции;
- Рентабельность даже при невысокой серийности;
- Сокращение капитальных затрат;

Высокое качество материала можно объяснить наличием мелкозернистой структуры, которая обеспечивается более коротким временем затвердевания сляба по сравнению с обычным толстым слябом, а также использованием технологии прокатки полосы с ещё жидкой сердцевиной LCR (Liquid Core Reduction).

На нескольких заводах России установлены такие литейно-прокатные агрегаты, а ряд вопросов отработки технологии решен выпускниками кафедры МТ-10 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

### Литература

1. *Mannesmann Demag Huttentechnik I.S.P. Inline Strip Production Demag/Arvedi Technical Documentation*
2. *Перлов Н.И., Истеев А.И., Тюрин В.А. и др. Англо-русский металлургический словарь – М.: Рус.яз., 1985. – 841 с.*
3. *Официальный сайт:*  
Arvedi Group - <http://www.arvedi.it>

УДК 621.771.262

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Анна Алексеевна Солякова

Студентка 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Г.С. Никитин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Повышение качества проката как основополагающего фактора развития металлургической промышленности является актуальным направлением работы, так как позволяет обеспечить снижение материальных затрат, рост металло- и энергосбережения при производстве готовой продукции.

Традиционная технология прокатки происходит по схеме, представленной на рис. 1.

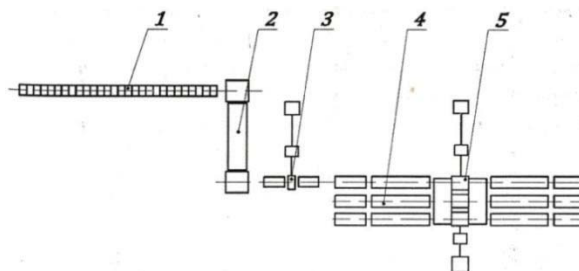


Рис. 1. Схема расположения рельсобалочного стана трио:  
1- подводный ролик; 2- нагревательная печь; 3- реверсивная клетка дуо;  
4- раскатное поле; 5 – клетка дуо и трио.

Но есть и другая технология, которая является более современной - процесс прокатки с применением универсальных клетей, разработанных фирмой «SMS Meer».

Схема такого стана приводится на рисунке (рис. 2).

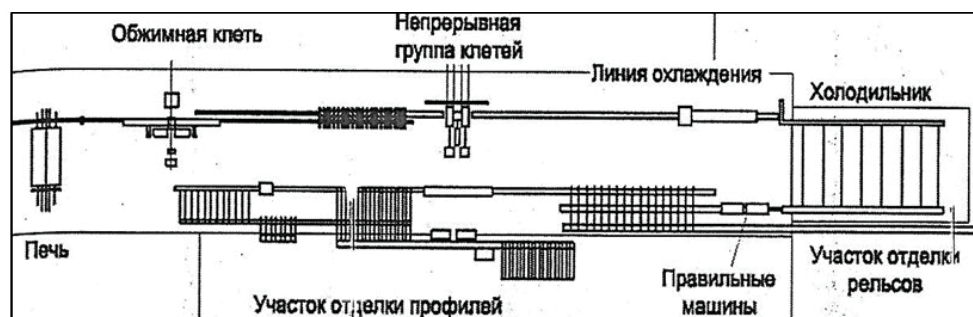


Рис.2. План расположения оборудования рельсобалочного стана фирмы Steel Dynamics Inc

Преимуществом технологии является одновременная и равномерная деформация всего поперечного сечения профиля.

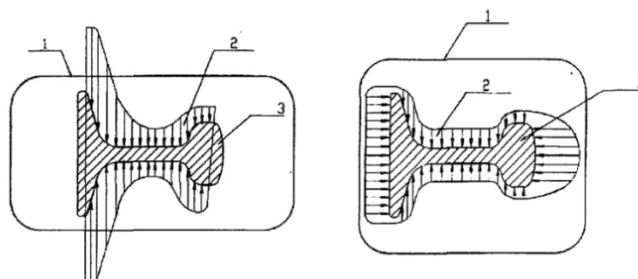


Рис.3. Сравнение калибровок традиционных двухвалковых клетей (слева) и универсальных клетей (справа) и универсальных клетей (справа):  
1-исходный профиль; 2-профиль после черновых проходов; 3-готовый профиль

При прокатке в непрерывной группе клетей (система SMS Meer) расчеты следует вести по программе, разработанной совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана.

По результатам анализа можно сделать вывод о возможности снижения начальной температуры прокатки в клетях 900 до 1050..1100С° и увеличении скорости прокатки (увеличение числа оборотов двигателя с  $n=70$  об/мин до  $n=100$  об/мин). При этом разность температуры переднего и заднего концов снизится вдвое. Это и позволит уменьшить расход энергии на нагрев на 15..20% и увеличить темп нагрева в методической печи.

#### **Выводы:**

1. Сделан анализ современной технологии прокатки рельсов.
2. Разработаны программы, отличающиеся тем, что расчет ведется для реверсивной прокатки.
3. Полученные результаты позволяют предложить уменьшение температуры нагрева, увеличение темпа нагрева, и как следствие, повышение производительности.

#### **Литература**

1. Зароцинский М.Л. Технологические основы проектирования прокатных станов. – 1962 – С. 152-157
2. Никитин Г.С. - Теория непрерывной продольной прокатки. – 2009. – 370с.
3. Металлургическое производство и технологии / Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологии RailCool. – 2006. – №2.

**УДК 669.013**

## **НОВЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ В ЦЕНТРЕ РФ**

Анна Алексеевна Солякова

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Г.С. Никитин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В нашем вузе десятилетиями ведется работа по подготовке специалистов, перед которыми рано или поздно возникнет вопрос: *Куда пойти работать!?* Проблема выбора заключается в том, что студенты не знают возможные варианты, где бы были нужны их знания. Именно поэтому многие работают не по своей специальности или в другой сфере. Чтобы понимать, где искать работодателя, я хотела бы рассказать о некоторых предприятиях, которые возможно позже смогут помочь при ответе на выше поставленный вопрос.

В работе представлены такие предприятия, как:

- Калужский научно-производственный электрометаллургический завод
- Рязанский трубный завод
- Московский трубный завод «ФИЛИТ»
- ОАО «Щелковский металлургический завод»
- ОАО «Тулачермет»
- ОАО "Металлургический завод Электросталь"
- ООО «Волжский Электро-металлургический завод»
- ЗАО «Королевский трубный завод»
- ЗАО «Волга Трубопрофиль»
- ЗАО «ГазПромВолгореченский трубный завод»
- ООО «Кулебакский электрометаллургический завод»
- ООО Торговый дом «Нижегородский металлообрабатывающий завод»
- ОАО «Выксунский металлургический завод».
- ЛПК «ОМК-Сталь»

Как вывод можно сделать заключение, что в области металлургии нужны специалисты и для них найдутся рабочие места.

### **Литература**

1. *Сорокина Н.* КНПЭМЗ – будем знакомы. – Металлоснабжение и сбыт. 2011. – №11. – С.40 – 42.
2. *Официальный сайт:*  
Московский трубный завод «Филит» – [www.filit.ru](http://www.filit.ru)  
Металлургический завод «Электросталь» – [www.elsteel.ru](http://www.elsteel.ru)  
Рязанский трубный завод – [www.demidovsteel.ru](http://www.demidovsteel.ru)  
ОАО «Щелковский металлургический завод» - [www.schelmet.com](http://www.schelmet.com)  
ОАО «Тулачермет» - [www.tulachermet.ru](http://www.tulachermet.ru)

ООО «Кулебакский электрометаллургический завод» - [www.ruspolymet.ru](http://www.ruspolymet.ru)  
ООО Торговый дом « Нижегородский металлообрабатывающий завод» –  
[www.nmz-nn.narod.ru](http://www.nmz-nn.narod.ru)  
ОАО «Выксунский металлургический завод» – оао-вмз.рф

**УДК 621.774.3**

## **НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

Александр Евгеньевич Комков<sup>(1)</sup>, Елена Владимировна Лагошина<sup>(2)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, студентка 6 курса<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Известно, что высокоточные трубы получают методом холодной прокатки. Как правило, для этого используют способы прокатки на станах продольной холодной периодической прокатки труб валкового типа (ХПТ) и станах холодной прокатки труб роликами (ХПТР). Именно эти станы получили наибольшее распространение в промышленности, как наиболее производительные и экономичные машины, пригодные для массового производства высокоточных труб. Это объясняется рядом преимуществ.

Способ периодической прокатки труб на станах ХПТ и ХПТР позволяет получать трубы с высокой точностью размеров: допуски на внутренний и наружный диаметр могут быть выдержаны в пределах 4...9 классов точности; чистота наружной и внутренней поверхностей достигает 9...10 классов точности. Разовые обжатия достигают 80...85% за один проход. Прокатка на станах ХПТ и ХПТР позволяет достичь значительного упрочнения металла за счет больших деформаций и дает возможность прокатывать трубы из труднодеформируемых материалов, вследствие благоприятной схемы деформаций. На станах ХПТ и ХПТР возможно прокатывать тонкостенные трубы и трубы переменные по диаметру и толщине стенки.

Постоянно ведутся исследования по повышению эффективности работы станов холодной прокатки. Среди них можно выделить следующие направления:

1. Создание длинноходовых станов ХПТ.
2. Создание и использование многониточных станов ХПТ, ХПТР.
3. Применение теплой прокатки.
4. Изменение в режимах подачи и поворота - подача и поворот перед прямым и обратным ходом.
5. Создание станов, использующих непрерывную подачу.

6. Разработка и применение новых калибровок рабочего инструмента (оправки с криволинейной образующей).

7. Создание способа и оборудования периодической прокатки одновременно двумя парами последовательно расположенных рабочих валков (тандем). Это может быть последовательно расположенные клетки ХПТ или чередованные клетки ХПТ и ХПТР, что позволяет вести «послойную» прокатку и получать особо тонкостенные трубы.

8. Пилигримовая прокатка в стационарной клетке (ХПТС).

9. Создание станов непрерывной прокатки.

В статье подробно рассмотрены преимущества и недостатки каждого направления.

### Литература

1. Кофф З.А., Соловейчик П.М., Алешин В.А., Гриншпун М.И. Холодная прокатка труб. – Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии. - Свердловское отделение, 1962.

2. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А., Самусев С.В. Технология трубного производства. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002.

3. Григоренко В.У. Процессы и клетки для непрерывной периодической холодной прокатки труб на станах ХПТР. // Металлург и горноруд. пром.- 1999. - №4. - С. 77-78

4. Григоренко В. У. Совершенствование процесса и оборудования периодической прокатки на роликовых станах ХПТР.// Сталь, 2000. - № 8. - С.48-50.

5. Моисеев Г. П., Фотов А. А., Бородин Ю.А.



УДК 621.774.3

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КРОМКИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКОЙ**

Антон Евгеньевич Лепестов

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

На сегодняшний день понятие качество особо актуально в современном машиностроении. Производство трубной продукции не является исключением. В производстве электросварных труб в настоящее время выделяют ряд параметров которые предъявляются к продукции, чаще всего это касается труб нефтегазового сортамента, когда требуются точная геометрия профиля трубы (допуски формы имеют минимальные значения) и требуется способность выдерживать высокие давления (до 250 атм). В большинстве случаев, продукция производится ненадлежащего качества из-за неверно построенного технологического процесса формовки, обусловленного неправильной калибровкой рабочего инструмента. Исследования способов получения трубной заготовки методом валковой формовки проведенные автором выявили десятки различных методик по расчету и изучению очага деформации, каждая из которых не является универсальной.

Однако стоит отметить общие допущения, которые присутствуют в каждой из них:

- Деформация распределяется равномерно по формовочным клетям стана
- Траектория перемещения точек кромки имеет вид винтовой линии
- Поперечные сечения заготовки остаются перпендикулярными направлению движения трубной заготовки

На сегодняшний день, используя математическое моделирование как инструмент, позволяющий исследовать поведение формуемой полосы в очаге сворачивания в трубную заготовку не прибегая к дорогостоящим натурным экспериментам, можно определить, как влияет тот или иной параметр процесса на качество получаемой продукции.

В предыдущих работах были исследованы влияние маршрута формовки [1] и длины очага деформации [2] на качество получаемой продукции на примере формовки трубной заготовки диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 мм, предназначенной для нефте - и газотрубопроводов. Таким образом, были сделаны выводы и даны рекомендации относительно производства данного типоразмера труб на ОАО «Выксунский металлургический завод».

Объектом настоящих исследований стала кромка трубной заготовки. В докладе приведены различные зоны, характеризующие поведение заготовки [3].

Первая зона является внеконтактной, при этом кромки поднимаются и искривляются в плоскости, касательной к торцу кромки.

Вторая зона характеризуется обратным искривлением кромки. При этом необходимо отметить, что знакопеременная нагрузка, возникающая на границе зон может привести к потере кромкой устойчивости и появлению таких дефектов как гофр и излом.

Третья же зона, зона в которой кромка занимает положение, определяемое валковым зазором, характеризуется выпрямлением периферийно части трубной полосы. При этом возникают сжимающие напряжения, которые также могут привести к потере стабильности формы кромки.

Также существенно влияет на качество получаемого изделия при формовке распружинивание заготовки и изгибающий момент, возникающий между очагами деформации (клетями).

Горизонтальный момент, который возникает при задаче полосы в формующую клеть, вызывает дополнительные растягивающие напряжения в кромке трубной заготовки.

Таким образом, исследование поведения кромки трубной заготовки как по всей длине стана, так и в частных очагах деформации, позволяет выработать ряд критериев, определяющих стабильность технологического процесса формирования высококачественной цилиндрической заготовки методом непрерывной валковой формовки.

### Литература

1. Соколова О.В., Лепестов А.Е. Формообразование трубных профилей. - М.: электронное научно-техническое издание «Наука и образование». - 2010. - №7.
2. Соколова О.В., Лепестов А.Е. Прогнозирование качества прямошовных сварных труб. М.: электронное научно-техническое издание «Наука и образование». - 2011. - №6.
3. Шевакин Ю.Ф., Глейберг А.З. Производство труб. - М.: Металлургия, 1968. - 440с.

УДК 621.771.014.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕКОНТАКТНЫХ ЗОН В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Дмитрий Александрович Матурин, Андрей Игоревич Хоменко

*Студенты 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Г.С. Никитин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

При осадке и вытяжке высоких полос при  $l/h < 1$  в центральной части полосы появляется растягивающие напряжения. На это указывается в работах А.Д. Томлёнова, Е.А. Попова и др. [2]. В этих работах учитывалось, что напряжение растяжения достигают значения предела текучести. И.М Павлов указывал на действие жестких зон при прокатке. А.И. Целиков и В.В. Смирнов считали, что на величину нормальных напряжений при прокатке в области  $l/h < 1$  оказывают влияние внешние зоны. Полученная ими эмпирическая зависимость контактных напряжений от  $l/h$  при осадке и прокатке выражаются формулой (1) (где  $l$  - длина контакта инструмента с полосой высотой  $h$ ).

Г.С. Никитин, анализируя процессы осадки, прокатки высоки полос и труб пришел к выводу, что величина контактных напряжений определяется не только размерами очагов деформации, но и действием внеконтактных зон, которые имеют место и при осадке высоких цилиндров и полос.

В ходе исследования был проведен анализ методов определения влияния внеконтактных зон при обработке металлов давлением. Произведено сравнение значений коэффициента  $n''_{\sigma}$  рассчитанного по формуле, выведенной В.В. Смирновым и А.И. Целиковым, при деформировании образцов из свинца:

$$n''_{\sigma} = p / p' = (l / h_{cp})^{-4} \quad (1)$$

и формулой Г.С. Никитина

$$n''_{\sigma} = 0,6 + 0,4F / F_0 \quad (2)$$

По результатам расчетов была составлена таблица значений и построен график зависимости коэффициентов  $n''_{\sigma}$ , рассчитанных по формулам (1) и (2).

Основываясь на данных расчета можно заключить, что оба метода применимы и имеют широкое применение при определении энергосиловых параметров технологического процесса обработки металла давлением. Однако, именно второй метод полностью отражает явление подпора возникающее во внеконтактных зонах.

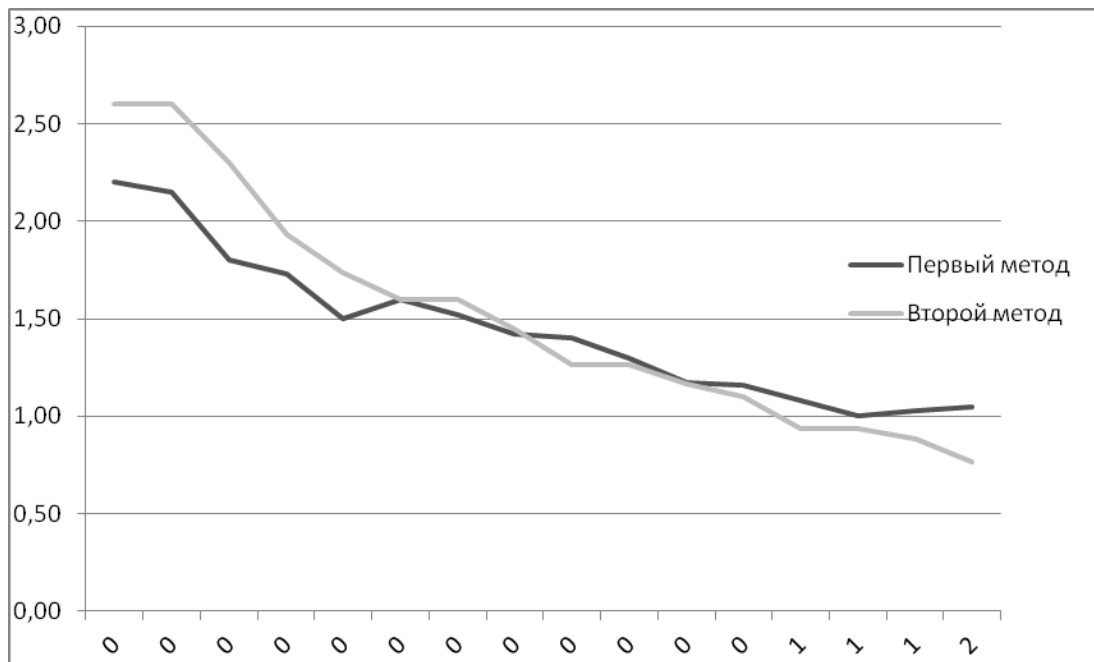


Рис.1. Зависимость коэффициентов  $n''_{\sigma}$  и  $n''_{\sigma\delta}$

Также может быть использована и уточненная формула, определяющая влияние внеконтактных зон на процесс прокатки [1].

$$n''_{\sigma\delta} = 1 + \frac{0,4F / F_0}{\left(1 + \frac{\mu l}{2 h_1}\right)} \quad (3)$$

Данная зависимость является универсальной и учитывает как отношения площадей, контактной и полной, так и отношение геометрических параметров заготовки  $l/h$ , коэффициент трения  $\mu$ .

#### Литература

1. *Никитин Г.С.* Теория непрерывной продольной прокатки: учеб. пособие – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 102 с.
2. *Сторожев М.А., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением – М.: Машиностроение, 1972. – 279 с.



**Секция №11**  
**Электронные технологии в машиностроении**

УДК 621.362

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МАГНЕТРОННЫМ И ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ С СЕПАРАЦИЕЙ ПОТОКА ПЛАЗМЫ

Екатерина Николаевна Тушенцова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.В. Панфилов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Объектом работы является термоэлектрический модуль (ТЭМ).

Для предотвращения встречной диффузии атомов меди в ТЭМ и увеличения срока службы применяют диффузионные барьерные слои, разделяющие проводник и полупроводник в месте их контакта. Эффективность барьерного слоя зависит от его структуры, размера зерна, технологии его нанесения.

Учитывая технико-экономические показатели, трудоёмкость технологий нанесения антидиффузионных покрытий, а также перспективу промышленного изготовления ТЭМ, для рассмотрения выделяют магнетронный метод и электродуговой с сепарацией потока плазмы.

Целью данной работы является измерение характеристик получаемых покрытий и выявление метода нанесения наиболее качественных покрытий.

В работе рассмотрены покрытие  $\text{Mo}+\text{Ni}$ , полученное магнетронным методом и покрытия  $\text{Zr}$ ,  $\text{Mo}+\text{HfZr}$ ,  $\text{Ti}$  – электродуговым методом с сепарацией потока плазмы.

Как показали измерения характеристик покрытий,  $\text{Ti}$  барьерное покрытие, нанесенное электродуговым методом с сепарацией потока плазмы, обладает наиболее высокими характеристиками по твёрдости и адгезионной прочности [1].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для изготовления термоэлектрических модулей наиболее рациональным является метод нанесения материала с помощью электродугового источника с сепарацией потока плазмы, позволяющий управлять потоком плазмы и его характеристиками проведения ионной очистки перед нанесением покрытия, тем самым обеспечивая высокую чистоту поверхности, улучшение адгезии, отсутствие дефектов [2]. Наиболее перспективным барьерным покрытием признано  $\text{Ti}$  барьерное покрытие, как покрытие, обладающее наилучшими адгезионными и прочностными характеристиками.

### Литература

1. Разработка технологии напыления коммутационных покрытий на кристаллы ТРТВ / Отчет об ОКР (промежуточ.) / НИИРЛ МГТУ им.Н.Э.Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. - 267с.

2. Тушенцова Е.Н., Панфилов Ю.В. Исследование методов уменьшения диффузии меди в теллурид висмута в термоэлектрических модулях / Материалы XVII Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России», материалы XXIV Международного симпозиума «Тонкие плёнки в электронике», материалы IV Международной научно-технической конференции «Наноинженерия». – 2011. – С.102-106.

**УДК 621.382.323**

## **ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ В МОП-ТРАНЗИСТОРАХ С НАНОМЕТРОВЫМИ РАЗМЕРАМИ ЭЛЕМЕНТОВ**

Екатерина Вадимовна Одинокова

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.Б. Цветков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Предметом рассмотрения в данной работе являются, материалы, используемые в новых поколениях МОП-транзисторов, размеры элементов которых менее 90 нм.

Миниатюризация транзисторов позволяет увеличить количество микросхем на кристалле, повысить быстродействие микропроцессоров. В настоящее время размеры элементов микроструктур уменьшены до нескольких десятков нанометров. Возникающие при этом физические проблемы не позволяют дальше уменьшать транзисторы простым масштабированием, поскольку применяемые материалы уже не обладают параметрами, способными обеспечить преимущество новых микроструктур в «электрическом и энергетическом плане».

Для предотвращения тока утечки в подзатворном диэлектрике, применяют высокопроницаемые материалы (*high-k*), способные хорошо держать заряд, такие как силикат гафния/циркония, относительная диэлектрическая проницаемость которых, больше чем у диоксида кремния, использовавшегося в качестве подзатворного диэлектрика на протяжении 30 лет. Так же при замене на новый материал, поменялся и материал затвора – с поликремния на металл.

В качестве межслойной изоляции напротив, используются материалы (различные соединения диоксида кремния с фотром F, углеродом C), относительная диэлектрическая проницаемость которых меньше чем у SiO<sub>2</sub>. Такие соединения обладают малой способностью поляризоваться под действием электрического поля и удерживать заряд.

Так же для увеличения быстродействия транзистора, вводится новый материал – напряженный кремний. Шаг решетки кремния увеличивается за счет



нанесения слоя нитрида кремния (или SiGe в зависимости от типа транзистора), тем самым облегчается прохождение тока сквозь кремний.

Таким образом, для дальнейшего продвижения по пути уменьшения параметров транзистора нужны новые решения в выборе материалов. Проведенный анализ существующих и новых материалов, используемых в МОП-транзисторах, показал, что перспективными материалами для изготовления элементов транзистора размерами менее 90 нм являются увеличивающие быстродействие и уменьшающие энергопотребление соединения: напряженный кремний, материалы с высокой диэлектрической проницаемостью (*high-k*), диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью (*low-k*).

### Литература

1. Дьяконов В. П. Intel. Новейшие информационные технологии. Достижения и люди. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004. - 416 с.
2. Куреев В. Ю. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии. - М.: ФГУП «ЦНИИХМ», 2008. - 432 с.
3. Huff, H.R., Gilmer, D.C. (Ed.) *High Dielectric Constant Materials : VLSI MOSFET applications* Springer ISBN 3-540-21081-4 (2005)
4. Robertson, J. "High dielectric constant gate oxides for metal oxide Si transistors" *Institute Physics Publishing High dielectric constant gate oxides (Rep. Prog. Phys. 69 327-396 2006)*
5. <http://www.nanonewsnet.ru>

УДК 543.271; 533.5.08

## СИСТЕМА АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Сергеевич Селиваненко

*Студент 4 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Производство микроэлектронной продукции связано с множеством проблем, одной из которых является воздействие вибраций на технологическое оборудование. Колебания высокой частоты успешно изолируются при помощи систем пассивной виброзащиты. Гораздо более опасными являются колебания с низкими частотами, для устранения которых и используются системы активной виброизоляции.

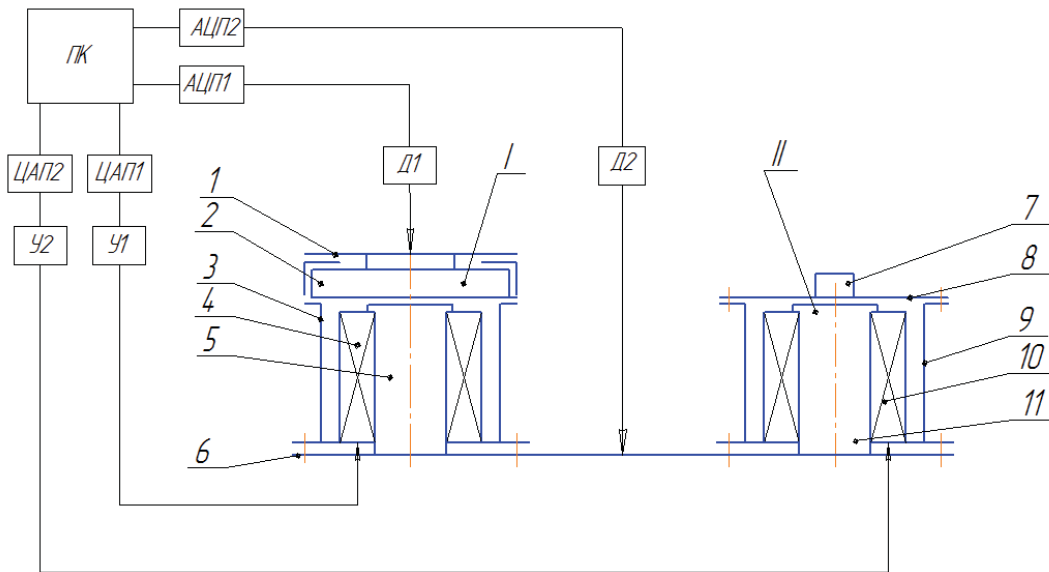


Рис. 1. Схема платформы для исследования активного МР-демпфера

На кафедре «Электронные технологии в машиностроении» была разработана конструкция экспериментального стенда (рис. 1) с целью проведения испытаний демпфера для активной виброзащиты.

Экспериментальная платформа (рис. 1) содержит демпфер I на основе МР – эластомера и датчик вибраций II. Датчик вибраций – специальное устройство, позволяющее задавать гармонические колебания платформы с заданной частотой и амплитудой.

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.

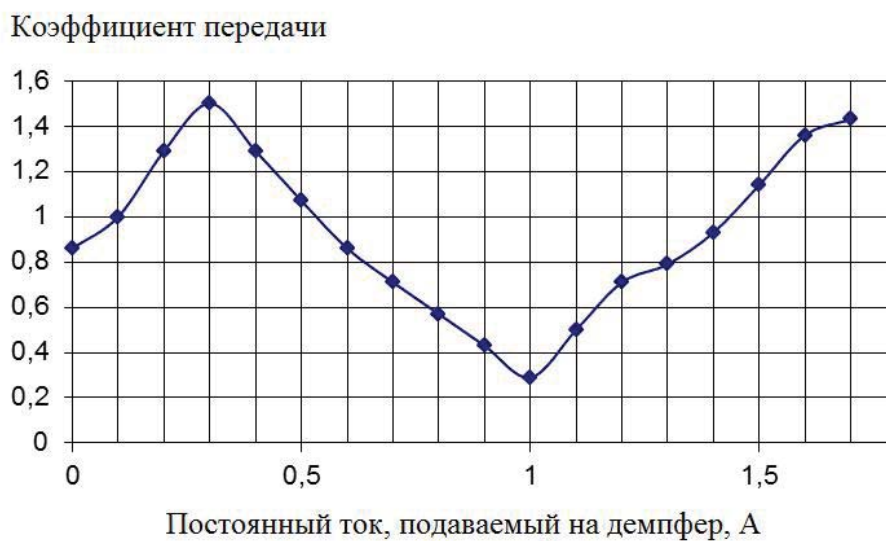


Рис. 2. График зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний демпфера на основе МР – эластомера

На экспериментальной платформе были проведены исследования зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний от силы тока для фиксированной частоты задатчика вибраций 100 Гц (рис. 2).

Исходя из полученных результатов, можно судить об изменении коэффициента передачи амплитуды вибраций, который при нулевом управляющем токе равен 0,88, т.е. наблюдается незначительное гашение колебаний.

При токе  $I = 1$  А (рис. 2) наблюдался минимум коэффициента передачи амплитуды колебаний, который составлял 0,25.

Кроме того, в ходе эксперимента была исследована зона нечувствительности и остаточная деформация МР-демпфера. Эксперимент проводился при токах  $I = 0..2$  А.

Тока величиной 0,1 А недостаточно для преодоления сил статического трения между магнитомягкими частицами, распределенными в МР-эластомере, из которого сделана мембрана, а при уменьшении силы тока от 2 до 1,3 А эластомер практически не изменяет своего положения также вследствие наличия статического трения между магнитомягкими частицами. Кроме того, оказывает некоторое влияние остаточная намагниченность магнитопровода и магнитных частиц МР-эластомера.

Эти два параметра – зона нечувствительности и остаточная намагниченность – оказывают существенное влияние на точностные и динамические характеристики демпфера, а также на эффективность поглощения энергии колебаний МР-эластомером.

#### **Выводы:**

1. В полуактивном режиме работы демпфера на основе МР-эластомера при подаче тока 0,3 А наблюдается резонанс системы. Коэффициент передачи вибраций максимален (около 1,5).

2. При токе 1 А коэффициент передачи вибраций минимален (около 0,25).

3. При возрастании тока (более 1 А) происходит увеличение коэффициента передачи вибраций вследствие повышения жесткости мембраны.

4. При токах от 0 до 0,1 А и от 2 до 1,3 А наблюдается зона нечувствительности. Кроме того, оказывает влияние остаточная намагниченность магнитопровода и магнитных частиц МР-эластомера.

5. МР-демпфер имеет остаточную деформацию, обусловленную наличием в МР-эластомере вязкого трения, которое появляется при смещении макромолекул эластомера относительно друг друга.

#### **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. Mechanics and Physics of Precise Vacuum Mechanisms: FMIA Volume 91 / E.A. Deulin, V.P. Mikhailov, Y.V. Panfilov, R.A. Nevshupa / Series Editor R. Moreau, Springer, 2010. – 234 p.

УДК 621.382.2

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИСКОВ-КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ СУХОГО ТРАВЛЕНИЯ**

Степан Александрович Степанов

*Студент 5 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.В. Жуков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В условиях серийного производства полупроводниковых диодов применяют метод сухого травления (пескоструйную резку) полупроводниковых кремниевых пластин через маскирующий трафарет.

Процесс сухого травления (пескоструйной резки) связан с удалением материала между защитными дисками трафарета на глубину, большую толщины пластины. В результате резки полупроводниковой пластины диаметром 76 миллиметров получают от 600 до 1200 дисков-кристаллов в зависимости от заданного диаметра (1.5...3.4 мм).

Маскирующий трафарет, состоящий из набора защитных дисков, закрепляют на обрабатываемой пластине из условия минимальных зазоров между дисками (300...350 микрометров). Учитывая малую толщину пластины (до 500 микрометров) и необходимость ее прорезания насквозь, последнюю наклеивают на стеклянную подложку.

При пескоструйной обработке пластины имеет место копирование (перенос) диаметральных размеров защитных дисков маскирующего покрытия на кристаллы-диски по плоскости их контакта. Форма поверхности резания кристалла имеет вид усеченного конуса.

Требования к точности размеров кристаллов заложены в технологию производства электронных компонентов для современных СВЧ - диодов ведущими производителями этой продукции.

Контролируемым размером в производстве диодов, является контур (диаметр) нижнего основания кристалла-диска. Диски-кристаллы разделяются до минимально возможного диаметра нижнего основания, по которому тестируются с точностью  $\pm 0,025$  мм. Например, для кристаллов с условным диаметром 1.5 мм и толщиной 300...350 мкм измеренный диаметр основания должен находиться в диапазоне от 1,475 до 1,525 мм.

Для дисков-кристаллов, полученных при пескоструйной обработке многослойных кремниевых пластин толщиной до 2 мм, соотношение верхнего и нижнего диаметров существенно больше допустимого.

Представленные в докладе результаты НИР по маскированию и резке условно толстых (до 3 мм) кремниевых пластин показывают, что разница значений этих

параметров составляют до 250...300 мкм при номинальном диаметре кристалла 3,2 мм, что не удовлетворяет условиям сборки прибора.

Рассмотрен альтернативный способ с двухсторонним симметричным маскированием и резкой многослойной кремниевой пластины, выравнивающий размеры кристалла по основанию и проведены предварительные исследования.

### Литература

1. Жуков В.В. Опыт создания технологии и оборудования для размерной пескоструйной обработки маскированных полупроводниковых материалов / Материалы международной конференции. М.: МГТУ, 2005. - с.114-118.

2. Жуков В. В., Дощечкин Е. Д. Технология изготовления полимерных маскирующих покрытий с использованием клеевых соединений при пескоструйной резке полупроводниковых материалов // Сборка в машиностроении, приборостроении. № 10. - 2005. - с. 20-23.

**УДК 539.1**

## **ВАКУУМНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ НАНОСТРУКТУР ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА**

Роман Олегович Емельяненко

*Студент 5 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.А. Деулин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана*

Работа посвящена расчету энергетической эффективности обогащения наноструктур широкого применения изотопами водорода. И обоснованию экономической целесообразности данного метода на базе вакуумной автоматической линии для обогащения наноструктур широкого применения изотопами водорода.

Обогащение наноструктур широкого применения водородом происходит путем механического измельчения (истирания) исходных элементов сырья органического происхождения до получения наноразмера в 100 нм (характеризующего радиус описанной окружности наночастицы в соответствии с ГОСТ Р 8.698-2010) и их последующего смешивания с жидкостью-носителем до образования гомогенной смеси [1].

Рассмотрим каменный уголь в качестве сырья и этиловый спирт в качестве жидкости носителя, уже используемый, как топливо в чистом виде [2].

Расчет энергетической эффективности:

Количество атомов углерода С в 1 кг угля:  $N_C = 5.017 \cdot 10^{25}$  атомов

Суммарная масса атомов водорода, проникших в уголь при наводороживании:  $\Delta m = 41 \text{ г}$

Масса обогащенных наноструктурированных частиц, определяется по формуле:

$$M_{T(\text{сухое нанотопливо})} = m + \Delta m = 1 \text{ кг} + 0.041 \text{ кг} = 1.041 \text{ кг}$$

где  $m$  - масса исходных частиц.

Расчет энергетической эффективности обогащенных наноструктурированных частиц:

$$A_{T(\text{сухое нанотопливо})} = \frac{A_C \cdot m + A_H \cdot \Delta m}{M_{T(\text{сухое нанотопливо})}} = \frac{29.3 \cdot 10^6 \cdot 1 + 140.9 \cdot 10^6 \cdot 0.041}{1.041} = 33.69 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$$

где

$A_C = 29.3 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$  - удельная теплотворность каменного угля (исходное значение) [3],  
 $A_H = 140.9 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$  - удельная теплотворность водорода [3].

Обогащенные наноструктурированные частицы смешивают с жидкостью носителем ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), в следующих пропорциях:

$$\frac{M_{T(\text{сухое нанотопливо})}}{m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}} = \frac{32\%}{68\%}, \Rightarrow m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 2.212 \text{ кг}$$

Расчет энергетической эффективности обогащенных наноструктурированных частиц, смешанных с жидкостью носителем ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ):

$$A_{T(\text{жидкое нанотопливо})} = \frac{A_{T(\text{сухое нанотопливо})} \cdot M_{T(\text{сухое нанотопливо})} + A_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \cdot m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}}{M_{T(\text{сухое нанотопливо})} + m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}} = \frac{33.69 \cdot 10^6 \cdot 1.041 + 30 \cdot 10^6 \cdot 2.212}{1.041 + 2.212} = 31.18 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$$

где  $A_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 30 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$  - удельная теплотворность этилового спирта [3].

Обоснование экономической целесообразности:

Так как производительность установки составляет 250 кг/час, то затраты (себестоимость  $S$ ) на изготовление 250 кг обогащенных наноструктурированных частиц за час составят:

1. Эл. энергия ( $E$ ) – 5.5 кВт./час. \* 4 руб./кВт = 22 руб./час.
  2. Сырьё ( $R$ ) – каменный уголь марки ДОМ 3514 руб./т, или 878.5 руб./час.
  3. Зарплата ( $P$ ) – 1 оператора на установке 15 т. р./мес., или 93.75 руб./час.
  4. Амортизация установки «Шаровая мельница» ( $D$ ) (ресурс 5 лет работы) - 121 800руб./43 800час = 2.78 руб./час
- $$S = E + R + P + D = 22 + 878.5 + 93.75 + 2.78 = 997.03 \text{ руб./час}$$

Теперь найдем себестоимость 1 кг обогащенных наноструктурированных частиц:

$$Сб_{\cdot \text{НАНО}} = \frac{S}{250} = \frac{997.03}{250} = 3.98 \text{ руб./кг}$$

Чтобы сравнить себестоимости исходных структур и обогащенных, нужно себестоимость 1 кг каменного угля ( $Cб_{\cdot\text{угля}} = 3.51 \text{ руб./кг}$ ) соотнести с себестоимостью наноструктур:

$$\omega = \frac{(Cб_{\cdot\text{НАНО}} - Cб_{\cdot\text{УГЛЯ}})}{Cб_{\cdot\text{УГЛЯ}}} \cdot 100\% = \frac{(3.98 - 3.51)}{3.51} \cdot 100\% = 13\%$$

#### **Выводы:**

1. Теплотворная способность угля при структурировании повышается не менее, чем на **13.05%**, а повышение себестоимости не превышает  $\omega = 13\%$ , следовательно можно говорить об эффективности данного метода обогащения наноструктур изотопами водорода.

2. Теплотворная способность наноструктур, обогащенных изотопами водорода больше теплотворной способности этилового спирта на **10%**

3. Теплотворная способность обогащенных наноструктурированных частиц, смешанных с жидкостью носителем ( $C_2H_5OH$ ), больше теплотворной способности этилового спирта на **3.8%**

#### **Литература**

1. *Деулин Е. А.* Заявка на патент РФ №2010 137 824 от 13.09.2010 Способ получения наноструктурированного топлива.
2. *Wilfreid J. Bartz-Ostfeldern.* Алкилированные нафталины как синтетическое топливо, стр. 238-239.
3. *Прохоров А. М.* Физическая энциклопедия. Большая Российская энциклопедия, 1998. — стр. 60-120.

**УДК 621.793.182, 621.893**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ**

Константин Павлович Оскирко

*Студент 5 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Беликов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В настоящее время список покрытий улучшающих характеристики инструмента, деталей машин и механизмов исчисляется десятками технологических рецептов. Наиболее часто применяют тонкопленочные покрытия в составе которых есть слои TiN, TiAlC, TiBN, TiCN, CrN, DLC и др.

Среди множеств характеристик покрытия, определяющих его функциональные возможности и преимущества над другими, наиболее важными являются микротвердость покрытия и коэффициент трения.

Использование однослойных покрытий как правило позволяет повысить либо твердость изделия, либо трибологические характеристики. Многослойные покрытия, имеющие в своем составе слои из износостойких и антифрикционных материалов, позволяют дополнительно повысить твердость, трещиностойкость, ударную вязкость и вместе с тем улучшить триботехнические свойства покрытия. Высокие триботехнические свойства покрытий определяются уменьшением коэффициента трения между контактирующими поверхностями и повышением прочности покрытия.

В данной работе рассмотрены различные упрочняющие покрытия, в состав которых входят слои TiBN, MoS<sub>2</sub> и др. Напыление покрытий производилось на установке магнетронного распыления Balzers 350G на образцы из инструментального материала ВК8 и ситалла. Перед нанесением покрытий образцы проходили следующие операции:

1. Полировка образцов (в случае простой поверхности – плоскость, цилиндр) на войлочном круге (с применением пасты ГОИ);
2. Очистка образцов от остатков полирующей пасты в специальном порошковом растворе, промывка в ацетоне в ультразвуковой ванне в течение 20 минут;
3. Предварительная промывка в спиртовом растворе образцов в течение 20 минут в ультразвуковой ванне;
4. Окончательная промывка в ацетоне образцов в течение 20 минут в ультразвуковой ванне;
5. Сушка образцов;
6. Закрепление образцов на оснастке и установка всей конструкции в вакуумную камеру;
7. Обработка поверхностей образцов потоком ионов из автономного источника ионов (АИИ).

После получения тонкопленочных покрытий были измерены их коэффициенты трения на трибометрическом стенде по схеме «pin-on-disk» [1] и микротвердости на микротвердомере ПМТ-3М.

В ходе измерений было выявлено, что наиболее высокими трибологическими свойствами и малой интенсивностью изнашивания обладают многослойные покрытия верхним слоем которых является MoS<sub>2</sub>, наибольшей твердостью обладает покрытие HfZrN.

Исходя из экспериментальных данных микротвердости и коэффициента трения, следует отметить, что при уменьшении толщины слоев возрастают требования к качеству и адгезионным характеристикам поверхности подложки.

Самым низким динамическим коэффициентом трения из всех измеренных покрытий обладает HfZrN+MoS<sub>2</sub>, его значение близко к 0,1. Многослойные тонкопленочные покрытия TiBN+MoS<sub>2</sub> и HfZrN+MoS<sub>2</sub> могут быть использованы для повышения долговечности пар сухого трения механизмов, а также для упрочнения режущего и деформирующего инструмента.

### Литература

1. Беликов А.И., Шаранков М.А., Селезнев А.В. Исследование механических и трибологических свойств тонкопленочных композиций на основе MoN, TiCN и MoS<sub>2</sub> // Матер. XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Высокие технологии в промышленности России». - М.: 2009. - С. 419-422.



**УДК 544.023**

## **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПАЛОВОЙ МАТРИЦЫ ПРИ АСМ-ИССЛЕДОВАНИИ**

Юлия Игоревна Симукова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Булыгина,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Исследование поверхности с высоким пространственным разрешением является важным элементом разработки новейших технологий. В распоряжении исследователя в настоящее время имеется достаточно богатый арсенал приборов, которые обеспечивают получение изображения исследуемой поверхности с нанометровым разрешением. К ним относятся: просвечивающий и сканирующий электронный, ближнепольный оптический, атомно-силовой и туннельный зондовые микроскопы. Успехи электроники привели к тому, что в настоящее время из всех перечисленных приборов зондовая микроскопия является наиболее доступным методом исследований, обеспечивая, при этом, наивысшее разрешение – от ангстрема (у простых приборов) до сотых долей ангстрема (у прецизионных микроскопов). Экстремально малые размеры объектов, с которыми оперируют нанотехнологии, делают крайне затруднительной визуализацию объектов и процессов, протекающих с их участием.

Следствием этого является проблема соответствия измеренного и реального состояний объекта наноизмерений.

Целью проекта является исследование влияния размеров зонда на точность определения параметров АСМ – изображения матрицы синтетического опала. Синтетические опалы - пористые среды, каркас которых построен из образующих регулярную гранецентрированную кубическую решетку, плотно упакованных монодисперсных сферических частиц аморфного оксида кремния диаметром от сотен до тысяч нанометров, являются перспективным материалом для формирования трехмерных наноструктур. Непосредственно опаловые матрицы (рис. 1), т.е системы на основе упорядоченных наносфер кремнезема  $\text{SiO}_2$ , получают осаждением монодисперсных частиц диоксида кремния из коллоидного раствора.

Рассмотрим острие зонда в приближении конуса, заканчивающего полусферой, радиусом закругления  $R$ . Тогда результирующее изображение глобулы опаловой матрицы будет являться суммой форм острия иглы кантилевера и глобулы. Зная диаметр глобулы  $d$ , и измерив ширину полученного изображения  $w$ , можно вычислить эффективный радиус закругления острия кантилевера АСМ (рис. 2 а, б). При этом используем приближение, в котором считаем, что глобула не претерпевает значительных деформаций, и высота глобулы равна ее диаметру.

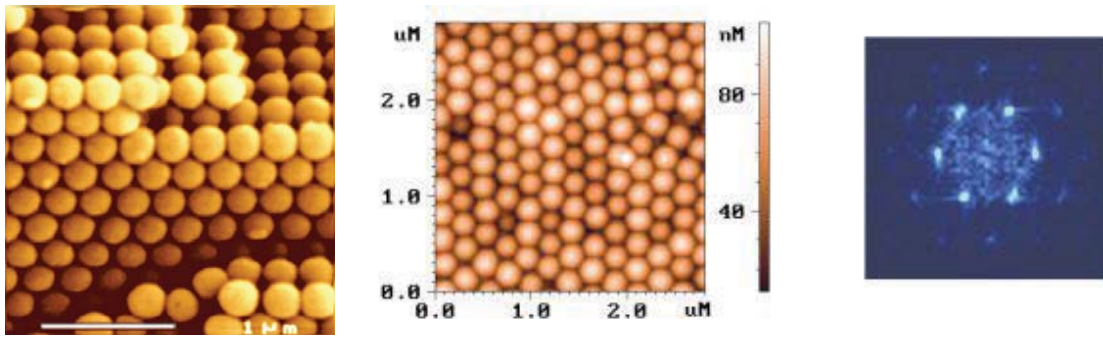


Рис. 1. Опаловая матрица [2]

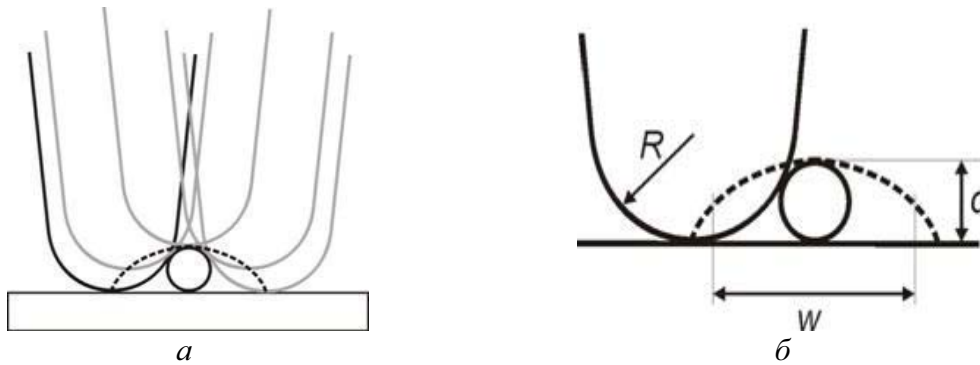


Рис. 2. *a* - траектория движения иглы атомно-силового микроскопа при сканировании глобулы, лежащей на основании;  
*б* - вид сечения изображения глобулы в атомно-силовом микроскопе [1]

Измерение ширины изображения глобулы лучше проводить на ее полувысоте. Тогда реальный диаметр глобулы можно будет рассчитать, используя следующее выражение:

$$R = 0.25d^{-1} \cdot (w^2 - d^2),$$

где  $R$  – эффективный радиус острия иглы атомно-силового микроскопа;  
 $d$  - диаметр глобулы;  
 $w$  - ширина изображения глобулы, измеренная на полувысоте.

Представленная зависимость позволяет вычислить отклонение истинного размера глобулы опаловой матрицы от размера, измеренного на АСМ-изображении. Так, для глобул диаметром 500 нм при использовании зондов с диаметрами  $D_1 = 10$  нм и  $D_2 = 35$  нм это отклонение составляет 9,90 нм и 33,85 нм, соответственно. Для глобул диаметром 200 нм при использовании зондов этих же зондов отклонение составляет 9,76 нм и 32,38 нм, соответственно.

Экспериментальные исследования опаловых матриц, сформированных из глобул диаметром 200 нм, произведенные на АСМ Solver Next, подтвердили правильность теоретических выкладок.

Таким образом, в процессе сканирования выявился один из основных артефактов АСМ: эффект "уширения профиля". Как и ожидалось, уширение изображения тем больше, чем больше радиус кривизны зонда.

Данные сведения следует учитывать при дальнейшем исследовании образцов на атомно-силовом микроскопе для восстановления реальной геометрии опаловой матрицы и наноструктур на ее основе.

### Литература

1. Методическое пособие «Получение СЗМ изображения углеродных нанотрубок. Оценка радиуса закругления острия зонда», Центр Нанотехнологий в Электронике Московского Института Электронной Техники (Технический Университет)
2. <http://www.ntmdt.ru/scan-gallery/group/opal-matrix>
3. <http://www.nanotechwestregion.ru>

УДК 621.3.049.75

## ИССЛЕДОВАНИЙ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ. ЗАПОЛНЕННЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ

Игорь Юрьевич Балашов

*Студент 4 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.Ш. Тахаутдинов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Доля производства прецизионных печатных плат с каждым годом растет, что обусловлено требованиями к функциональности и высокой производительности электронных устройств. Для дальнейшего повышения плотности интеграции печатных плат необходимо применение новых методов проектирования и новых технологий их изготовления.

Одним из таких методов является использование переходных отверстий внутри контактных площадок, так называемых – «*via in pad*» [1]. Общая площадь, занимаемая контактными площадками переходных отверстий в их традиционном исполнении, составляет от 10 до 15% всей полезной площади многослойных печатных плат. При использовании «*via in pad*», благодаря освобождению ранее используемой площади, можно существенно повысить плотность интеграции прецизионной печатной платы. Кроме того, благодаря использованию переходных отверстий внутри контактных площадок, можно решить назревающую серьезную проблему, связанную с трассировкой многовыводных матричных компонентов. Для таких устройств, как процессоры, с количеством выводов более 1500 при малой занимаемой площади, для осуществления трассировки необходимо 12 и более внутренних слоев многослойных печатных плат (МПП) [4]. Увеличение числа слоев МПП приводит к увеличению трудоемкости ее изготовления и, конечно же, к росту цен на конечные электронные изделия. При использовании «*via in pad*» число внутренних слоев необходимых для трассировки можно сократить в 1,5...2 раза.

Преимущества использования переходных отверстий внутри контактных площадок очевидны, но, так или иначе, их использование невозможно без заполнения этих отверстий из-за ряда дефектов, возникающих при пайке компонентов на контактные площадки с отверстиями [2, 3]. Главной целью данной работы является изучение методов заполнения переходных отверстий многослойных печатных плат. Были выявлены наиболее актуальные технологии заполнения, предложенные за последние 20 лет по всему миру. В том числе, детально рассмотрен метод заполнения отверстий предложенный в России – «метод заполнения отверстий вытеснением при прессовании». Проведен сравнительный анализ методов, исходя из которого, можно сделать вывод о перспективах развития и внедрения метода вытеснения при прессовании в производство прецизионных печатных плат.

### Литература

1. *John Steinar Johnsen*. Filled, Plugged, Plated Via In Pad, USA - 2010.
2. *Michael Carano*. Via Hole Filling Technology for High Density, High Aspect Ratio Printed Wiring Boards Using a High Tg, low CTE Plugging Paste. Electromechanicals Inc., Minnesota - 2007.
3. *Michael O'Hanlon*. Process for Plugging Low to High Aspect Ratio Through-Holes with Polymer Thick Film Conductive Ink in Production Volumes. DEK Printing Machines, Flemington - 2004.
4. *Лузин С., Петросян Г., Полубасов О.* Проблемы трассировки печатных плат с BGA-компонентами. ChipNews - 2008.



**Секция №12**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

УДК 621.375

## КОМБИНИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Александр Александрович Приходько

*Студент 5 курса,  
кафедра «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

*Научный руководитель: М.Н. Еришов,  
старший преподаватель кафедры «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

Особенностями алюминиевых сплавов, затрудняющими их лазерную сварку, являются: высокий коэффициент отражения лазерного излучения, высокая теплопроводность, малая температура плавления и присутствие на поверхности алюминиевых сплавов термодинамически стабильной тугоплавкой оксидной пленки, практически не растворимой в расплаве металла. Последняя особенность приводит к тому, что одним из основных дефектов сварки (~ 48%) является газовая пористость [1]. Для улучшения качества сварного соединения в настоящее время широкое распространение получили способы, основанные на использовании флюсов, позволяющих растворять окисную пленку в процессе сварки. Но при обработке лазерным излучением их использование сопровождается высоким уровнем непроизводительных потерь энергии на нагрев и расплавление флюса, что вызывает резкое уменьшение глубины проплавления [2].

Исключить указанные недостатки позволяет разработанный способ комбинированной лазерной сварки [3]. В предложенном способе, решение указанной задачи заключается во введении в зону обработки дополнительного модулированного излучения (рис. 1), позволяющего удалять пленку окислов с обрабатываемых поверхностей кромок. Причем, для предотвращения повторного образования окисной пленки, ее удаление осуществляется непосредственно во время развития генерации плавящего импульса основного лазера (рис. 2). На первом этапе короткие импульсы модулированного излучения, удаляют пленку окислов с поверхности свариваемых элементов и вдоль их границы раздела (стыка). На втором этапе импульс излучения основного лазера производит сварку деталей в локальной зоне воздействия.

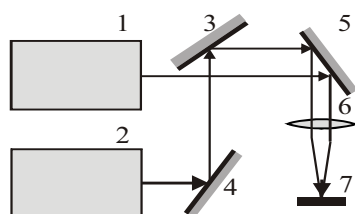


Рис. 1. Оптическая схема:

- 1 - лазер в режиме свободной генерации;
- 2 - лазер с модуляцией добротности;
- 3,4,5 - система поворотных зеркал;
- 6 - объектив; 7 - заготовка

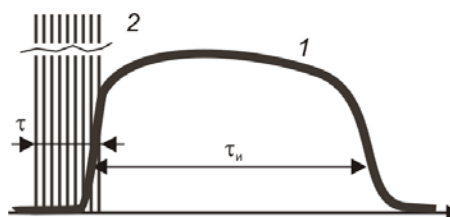


Рис. 2. Совмещенная огибающая:

- 1 - плавящий импульс;
- 2 - цуг модулированного излучения

Экспериментальное исследование режимов обработки комбинированным излучением выполняли с помощью лазерного комплекса, созданного на базе технологических установок Квант–15 и ЛТИ–130. Радиус сфокусированного пятна варьировался в диапазоне 0,5...1,0 мм. Максимальная энергия излучения лазера на базе установки Квант–15 в режиме свободной генерации составляла 23 Дж при длительности цуга импульсов 3 мс. Модуляцию добротности лазера на базе установки ЛТИ–130 осуществляли пассивным затвором на кристалле  $\text{LiF:F}_2^-$  с начальным пропусканием 52 %. При этом максимальная энергия цуга длительностью 200 мкс, состоящего из 150 импульсов длительностью 60 нс каждый, составляла 2,2 Дж. Радиус сфокусированного пятна варьировался в диапазоне 0,5...1,0 мм.

Исследования шлифов сварных соединений, полученных в результате комбинированного лазерного воздействия, показали:

1. отсутствие в материале сварного шва дефектов, характерных при одиночном воздействии плавящих импульсов;
2. глубина проплавления практически равна толщине свариваемых пластин (1 мм);
3. при комбинированном воздействии соотношение  $h_{\text{кон}} / h_{\text{сфер}}$  более 3, а при одиночном воздействии плавящих импульсов  $h_{\text{кон}} / h_{\text{сфер}} \approx 1$ , где  $h_{\text{кон}}$  и  $h_{\text{сфер}}$  – коническая и сферическая составляющие профиля сварного соединения.

Рациональный режим комбинированного воздействия на тонколистовой материал определялся из условия минимального испарения основного металла при наиболее полном удалении пленки окислов. Для образцов толщиной 1 мм это условие выполняется в интервале энергии цуга импульсов модулированного излучения 1,8-2,2 Дж. Полученные результаты по пористости сварных соединений хорошо согласуются с результатами испытаний, показавших улучшение механических свойств соединений при испытаниях на статический изгиб.

Таким образом, проведенные исследования указывают на возможность получения с помощью комбинированного лазерного излучения качественных сварных соединений деталей малых толщин из алюминиевых сплавов.

### Литература

1. *Рабкин Д.М.* Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов. – Киев: Наукова думка, 1986. – 256 с.
2. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т.1. Свариваемость материалов. Справочное издание / Под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Металлургия, 1991. – 528 с.
3. *Федин А.В., Чащин Е.А.* Сварка алюминиевых сплавов комбинированным излучением // Изв. АН. Сер. Физическая, Т.66. – 2002. – № 7. – С. 973-975.



УДК 621.373

## ЛАЗЕРНАЯ ПЕРФОРАЦИЯ ГЛУБОКИХ МИКРОННЫХ ОТВЕРСТИЙ В КЕРАМИКЕ $Al_2O_3$

Илья Сергеевич Тычков

*Студент 4 курса,  
кафедра «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

*Научный руководитель: С.А. Солохин,  
доцент кафедры «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

Работа направлена на разработку и создание высокоэффективной технологии лазерной перфорации глубоких и сверхглубоких (коэффициент формы более 100) отверстий малого диаметра (20...300 мкм) в различных конструкционных материалах, в том числе твердых и тугоплавких.

Для труднообрабатываемой керамики  $Al_2O_3$  отработан метод лазерной перфорации глубоких отверстий микронного диапазона, в котором в процессе формирования отверстия реализуется принцип управляемой модуляции добротности мощного одномодового ИАГ:Nd-лазера [1-4] с голографическим зеркалом адаптировано к условиям техпроцесса в режиме реального времени. Перемещение градиентно окрашенного кристалла  $LiF:F_2^-$  внутри резонатора с уменьшением его оптического пропускания  $T_0$  приводило к увеличению энергии и пиковой мощности лазерных импульсов [3]. Это позволяло компенсировать снижение интенсивности на дне отверстия по мере роста канала и, тем самым, обеспечить высокую эффективность сверхглубокого сверления. Было установлено, что использование управления лазерной генерацией во время обработки оптимизирует процессы не только нагрева и плазмообразования, но и выноса материала в паузе между импульсами – чем глубже канал, тем большее время необходимо для выноса материала.

При обработке корундовой керамики удалось провести прямые исследования динамики процесса лазерной прошивки, что было возможным, благодаря визуализации внутриканальных процессов сверления. Дело в том, что на расстоянии 1...2 мм от канала воздействия керамика  $Al_2O_3$  является прозрачной для свечения нагретой лазерным излучением зоны обработки, и в эксперименте можно визуально, в режиме реального времени контролировать процессы взаимодействия излучения с веществом. Использование визуального контроля при адаптированном регулировании параметров генерации лазера позволило определить оптимальные режимы лазерной генерации провести обработку отверстия по глубине с максимальной скоростью, при этом, получить в керамике  $Al_2O_3$  рекордные, на сегодняшний день, глубокие каналы (до 27 мм) при среднем диаметре отверстия ~ 200 мкм.

Таким образом, в работе были исследованы возможности повышения эффективности лазерного сверления микронных отверстий, увеличения их глубины и устранения конусности при использовании излучения мощного одномодового

ИАГ:Nd лазера с пассивной модуляцией добротности сканируемым градиентно окрашенным кристаллом LiF:F<sub>2</sub>-.

Результаты работы особенно актуальны в областях машиностроения – для производства инжекторов топлива, в том числе в перспективных керамических двигателях, самолетостроения – для повышения аэродинамических свойств летательных аппаратов и энергетики – для повышения эксплуатационных свойств газовых турбин, микроэлектроники – для изготовления узлов сопряжения оптоволоконных линий связи, нано- и биотехнологиях (биочипы) и др.

### Литература

1. *Басиев Т.Т., Федин А.В., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н.* Одномодовый ИАГ:Nd-лазер с самообращением волнового фронта и его применение // Известия АН. Серия физическая, 1999. – №10. – Т.9. – С.1909–1913.

2. *Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Осико В.В.* и др. Способ прошивки прецизионных отверстий лазерным излучением / Патент РФ № 2192341 МКИ Н 01 S 3/11. Приоритет от 13.07.2000 г.

3. *Федин А.В., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н.* и др. Повышение эффективности неодимовых лазерных систем специального назначения с самообращением волнового фронта в активной лазерной среде / В сборнике научных трудов "Оружие Победы. Штрихи истории. Взгляд в будущее", т. 2 / Под ред. Ю.М. Сазыкина. Ковров: КГТА, 2005. – С.228–242.

4. *Солохин С.А., Сметанин С.Н.* Методика определения архитектуры мощных лазеров нового типа с самообращением волнового фронта в лазерной среде при сильной термолинзе // Сборник тезисов XII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам "Ломоносов 2005", секция "Физика". – М.:МГУ, 2005. – Т. 1. – С. 186-187.

УДК 621.375.826

## ОЦЕНКА ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СОВМЕЩЁННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Хтет Аунг Лин

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Мисюров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Повышение эффективности процесса лазерной обработки можно достигнуть использованием дополнительного источника тепла. До настоящего времени нет ясности в применимости этого метода для сварки больших толщин. Оценку области

применения лазерной гибридной сварки проводили с использованием компьютерного моделирования, что позволяет существенно упростить выбор оптимальных параметров обработки. Исследовали влияние толщины свариваемого металла с различными теплофизическими свойствами на эффективность гибридной сварки. Для этого проводили расчет сварки пластин из стали типа 30ХГСА ( $\lambda_t = 0,32$  Вт/(см·К)) и стали типа Х18Н9 ( $\lambda_t = 0,163$  Вт/(см·К)) различных толщин: 0,6 и 100 мм.

Изменяли мощность дополнительного источника тепла в диапазоне 2-8 кВт и его положение относительно центра лазерного луча при условии полного провара пластины. Скорости сварки составляла 1, 3 и 5 см/с. Расчетным путем установлено, что за счет использования дополнительного источника тепла можно уменьшить мощность лазерного излучения. Это свидетельствует о повышении эффективности лазерного воздействия. Показано, что наибольшая эффективность процесса достигается на малых толщинах. Это справедливо в широком диапазоне скоростей обработки и мощностей дополнительного источника тепла.

**УДК 621.793**

## **ОБРАБОТКА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ CO<sub>2</sub> – ЛАЗЕРА.**

Александр Евгеньевич Шепелев

*Студент 5 курса,  
кафедра «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

*Научный руководитель: А.А. Митрофанов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерная физика и технология»,  
Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева*

Теплозащитная способность покрытия определяются не только свойствами самого материала, но и его пористостью. Так с увеличением пористости улучшаются теплозащитные свойства покрытия, в частности термостойкость, сопротивляемость растрескиванию при термоциклических нагрузках. С другой стороны, развитая наружная и внутренняя пористость облегчает возможность проникновения атмосферных газов, главным образом атомарного кислорода, через покрытие к поверхности металлической основы [1, 2]. Сочетание этих свойств возможно при формировании покрытия с пористостью, изменяющейся по его глубине, за счет оплавления поверхностного слоя, в частности используя лазерное излучение. Лазерное излучение, обладая высокой плотностью подводимой энергии, широко используется в различных технологических процессах, в том числе и для обработки поверхностных слоев [3].

В рамках предлагаемой работы рассматривался вопрос модификации плазменных покрытий путем дополнительного воздействия лазерным излучением.

На экспериментальные образцы из конструкционной стали 10, с использованием установки «Киев - 7» напылялись покрытия двух видов: керамическое на основе  $Al_2O_3$  и на основе сплава ПН 85-Ю-15. Дисперсность частиц напыляемого порошка составляла 40...60 мкм. Лазерная обработка каждого вида покрытия выполнялась с использованием непрерывного излучения  $CO_2$  – лазера. Параметры обработки определялись исходя из условия формирования на поверхности покрытия температур в диапазоне «температура кипения - температура плавления» соответствующего материала.

Определение результатов воздействия лазерного излучения проводилось на основе исследования их структуры. Количественная оценка изменения пористости выполнялась с помощью разработанной в среде Visual Studio 2008 программы обработки изображений. При использовании данной программы определялось процентное соотношение темных (поры) и светлых (материал покрытия) зон на изображении микроструктуры поперечного шлифа экспериментальных образцов. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Табл. 1. Изменение пористости газотермических покрытий в результате воздействия непрерывным излучением  $CO_2$  – лазера.

Материал покрытия.	Плотность мощности лазерного излучения $q$ , Вт/см <sup>2</sup>	Средняя пористость $n_{cp}$ , %
$Al_2O_3$	0 (исходное состояние)	24.5
	$1,6 \times 10^6$	18.38
	$3,8 \times 10^6$	15.1
ПН 85-Ю-15	0 (исходное состояние)	17
	$1,5 \times 10^6$	8
	$1,8 \times 10^6$	5

Из полученных результатов видно, что воздействие непрерывным лазерным излучением, приводит к снижению средней по глубине пористости покрытия. Наиболее интенсивно этот процесс протекает в покрытии на основе сплава ПН 85-Ю-15. В этом случае происходит снижение пористости с 17% в исходном состоянии до 5-8% после лазерной обработки, т.е. в 2...3 раза. Для керамического покрытия  $Al_2O_3$  влияние на пористость воздействия лазерным излучением проявляется в меньшей степени, 24,5 % в исходном состоянии до 15 – 18 % после лазерной обработки. Очевидно, это связано с более высокими значениями температур плавления и кипения керамического покрытия  $Al_2O_3$  по сравнению со сплавом ПН 85-Ю-15. Кроме того, наибольшее снижение пористости всех типов покрытия происходит в верхних слоях, которые нагреваются до более высоких температур по сравнению с нижележащими.

#### Выводы:

1. Установлено, что воздействие лазерным излучением приводит к снижению средней пористости газотермических покрытий на основе различных материалов. Для покрытия на основе сплава ПН 85-Ю-15. происходит снижение пористости с 17% в исходном состоянии до 5-8% после лазерной обработки, для керамического покрытия  $Al_2O_3$  - 24,5 % в исходном состоянии до 15 – 18 % после лазерной обработки.

2. Наибольшее снижение пористости всех типов покрытий происходит в его верхних слоях,

### Литература

1. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М.: Наука, 1977.
2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учебное пособие по курсу “Технология конструкций из металлокомпозитов”. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 360 с.:
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с

**УДК 620.179.18**

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Александр Владимирович Пересторонин

*Магистр 1 года,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Б.М. Фёдоров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Проблема измерения и устранения остаточных напряжений в крупногабаритных толстолистовых сварных конструкциях остается на сегодняшний день актуальной, особенно при выполнении сварных соединений в судостроении.

Для контроля сварных швов требуется неразрушающий метод, позволяющий с определенной точностью оценивать значения остаточных напряжений в глубине сварного шва, где, как правило, наблюдается трехосное напряженное состояние.

Остаточные напряжения в центре сварного шва оказывают влияние на временную прочность сварного шва, в результате чего их наличие может привести к разрушению конструкции при действии нагрузки меньше расчетной.

На сегодняшний день известно несколько основных методов определения остаточных напряжений. Каждый из них имеет преимущества и недостатки, ограничивающие область его применения.

Механические методы наиболее глубоко проработаны, есть стандартизированные методы; дают достаточно высокую точность и позволяют определять напряженное состояние на различной глубине по всем трем направлениям. Но эти методы относятся к разрушающим, а значит, неприменимы к реальным конструкциям.

Рентгеновские методы позволяют определять напряжение локально, измерять градиенты напряжений исследовать мгновенные напряжения в деталях; применимы для изделий сложной формы и больших размеров. Однако, на точность результатов существенно влияет размер зерна, состояние поверхностного слоя. Оборудование для этих методов дорогое и часто требует дополнительных мер по обеспечению безопасности труда.

Акустические методы могут применяться для измерения как поверхностных, так и средних по объему напряжений, оборудование компактно и безвредно. Но на результат влияет неоднородность механических свойств, что является проблемой при исследовании сварных соединений.

Ультразвуковой лазерный метод позволяет достаточно локально определять напряжение, в том числе на большой глубине, но обладает тем же недостатком, что и другие акустические методы, а для обеспечения высокой локальности требуется доступ с обеих сторон шва.

Электромагнитные методы относительно просты в реализации и позволяют достаточно оперативно получить результат, но отличаются малой локальностью (диаметр поля измерения до 3 мм) и ограниченной глубиной (до 25 мм), при этом имеют значительную погрешность.

Общим недостатком физических методов является их относительность. Определение напряжений происходит посредством сравнения сигнала от исследуемого образца с сигналом, полученным при тарировке. Это, во-первых, требует наличия образца, аналогичного исследуемому и проведения на нем дополнительных операций, а, во-вторых, погрешность вносится ввиду различия структуры и фазового состава основного металла, на котором обычно осуществляют тарировку, и металла сварного шва.

Существуют еще ряд методов измерения остаточных напряжений: метод измерения микротвердости, метод тонких покрытий и другие, но они практически неприменимы для измерения напряжений в глубоких слоях металла.

Таким образом, на сегодняшний день для определения трехосного напряженного состояния невозможно обойтись каким-либо одним физическим методом контроля. В дальнейших исследованиях планируется проверить перспективность применения комбинированных методов. Рассматривается, в частности, возможность тарировки физических методов (ультразвуковых, магнитных) по результатам механических исследований, а также установить на их основе закономерности распределения остаточных напряжений вдоль осей.

### Литература

1. Бигер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 233 с.
2. Гатовский К. М. Теория сварочных напряжений и деформаций. – Ленинград: изд. Ленинградского Ордена Ленина кораблестроительного института, 1980. – 331 с.
3. Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.

УДК 621.373.826: 621.793.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК ZnO и GaN НА КРЕМНИЕВЫЕ И САПФИРОВЫЕ ПОДЛОЖКИ

Юрий Алексеевич Штоль

*Магистрант 2 года,  
кафедра «Инструментальное производство»,  
Донской государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Х. Харахашев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальное производство»,  
Донской государственный технический университет*

Исследование процесса импульсного лазерного напыления (ИЛН) пленок ZnO, GaN на кремниевые и сапфировые подложки, для улучшения оптических и электрических свойств формируемого пленочного покрытия, реализуемого в технологии изготовления оптических проводников.

В работе были проведены серии экспериментов для установления зависимости морфологии пленочного покрытия от режимов обработки и его однородности от применения промежуточного экрана при лазерной абляции мишени. По результатам исследования были сделаны выводы, имеющие практическое значение для получения эпитаксиальных пленок с проводимостью  $n$  и  $p$ -типа.

Эксперименты по импульсному лазерному напылению проводились на вакуумной установке ВУП-5. Для испарения мишени использовался Nd: YAG - твердотельный лазер с  $\lambda = 1.064$  мкм,  $\tau_u = 15$  нс,  $f_u = 10$  Гц. Излучение лазера фокусировалось на поверхности мишени, фокусное расстояние оптической системы 40 см, плотность потока энергии равнялась 0.2 Дж. Подложка располагалась на расстоянии 50 см от мишени на специальном нагревательном столе, температура которого могла изменяться от 100°C до 600°C в ходе эксперимента. Для предотвращения попадания микрочастиц на поверхность подложки использовался промежуточный экран из нержавеющей стали толщиной 0.25 мм размером 10x20 мм.

Была исследована зависимость скорости роста пленок от температуры подложки и давления кислорода. При давлении буферного газа  $P_o < 66.55$  Н/м<sup>2</sup> скорость роста пленки возрастала при увеличении температуры напыления  $T_d$  до 400°C, а затем снижалась, прекращаясь при 600°C. Уменьшение температуры и давления буферного газа вызывало сильный рост проводимости покрытия. Так же было обнаружено, что давление буферного газа практически не оказывает влияния на морфологию пленки при изменении давления от 1.33 Н/м<sup>2</sup> до 6.65 Н/м<sup>2</sup>.

В ходе экспериментов были получены пленки с разным удельным сопротивлением, в зависимости от используемых режимов. При  $T_d = 540^0$  С и  $P_o = 6.65$  Н/м<sup>2</sup>. Была получена пленка с достаточно высоким удельным сопротивлением  $\rho > 100$  Ом·см. Уменьшение температуры и давления буферного

газа вызывало сильный рост проводимости покрытия, при  $T_d=360^0\text{C}$  и  $P_o=6.65\text{H}/\text{м}^2$ ,  $\rho=0.3\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ . при  $T_d=360^0\text{C}$  и  $P_o=1.33\text{H}/\text{м}^2$ ,  $\rho=0.05\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ . Данные зависимости можно объяснить уменьшением числа свободных электронов при увеличении температуры и давления кислорода.

Было установлено, что использование промежуточного экрана позволяет сильно снизить вероятность попадания крупных микрочастиц размером 1 мкм и более на поверхность подложки и обеспечивает высокую однородность пленки. Оптимальное расположение экрана в вакуумной камере, при котором обеспечивается высокая однородность пленки - 1/3 расстояния от мишени до подложки, его ориентация в пространстве - перпендикулярно углу отражения лазерного луча. При этих условиях процесс осаждения на подложку протекает в тени экрана.

**УДК 538.911**

## **АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА ПОЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ**

Александр Евгеньевич Шупенев<sup>(1)</sup>, Юрий Михайлович Миронов<sup>(2)</sup>

*Магистрант 1 года<sup>(1)</sup>, аспирант<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Мисюров,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Современные тенденции миниатюризации в электронике и технике приводят к необходимости поиска новых способов обеспечения эффективного теплоотвода, предъявляя особые требования к конструкции теплоотвода. Современным и эффективным решением во многих областях является применение термоэлектрических модулей, основанных на эффекте Пельтье. Полупроводниковые материалы на основе теллурида висмута  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  широко используются в термоэлектрических преобразователях энергии, холодильниках, термостатах благодаря высоким значениям термоэлектрической эффективности [1]. В современных твердотельных термоэлектрических преобразователях энергии используются преимущественно объемные материалы. Интерес к тонким и сверхтонким пленкам указанных полупроводников обусловлен перспективами создания миниатюрных устройств с более высокими функциональными возможностями. Локальное охлаждение или нагревание происходит приблизительно в  $2\cdot 10^4$  раз быстрее, чем в устройствах, созданных на основе объемных материалов [2].



Метод импульсного лазерного осаждения выгодно отличается от термических методов непрерывного осаждения тонких пленок полупроводников. Наличие большой доли возбужденных атомов и ионов позволяет понизить температуру эпитаксиального роста, а высокая скорость образования зародышей позволяет осаждать чрезвычайно тонкие сплошные пленки (единицы нанометров). Кроме того, можно достаточно точно контролировать толщину пленки количеством лазерных импульсов [2].

Целью данной работы являлось получение тонких термоэлектрических пленок теллурида висмута на кремниевой монокристаллической подложке и анализ морфологии поверхности полученных пленок. Выявление зависимостей при формировании гетероэпитаксиальных структур, а также выдвижение предположений о причинах наблюдаемых эффектов производится с целью проведения дальнейших работ в области совершенствования конструкций термоэлектрических модулей.

Для осаждения использовалось оборудование технологического комплекса Нанофаб-100 на основе Кг-F лазера с длиной волны 248 нм. Использовались мишени из прессованного  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  р-типа и подложки из монокристаллического кремния высокой чистоты. Энергетика лазерного излучения изменялась от 50 мДж до 250 мДж, длительность импульса составляла 30 нс, частота обработки 4 Гц, пятно обработки размером порядка 1мм, общее количество импульсов 25000 для каждого образца. Температура нагревателя подложки менялась от 20<sup>0</sup>С до 800<sup>0</sup>С. Изменялось также расстояние между подложкой и мишенью от 15 до 50 мм. Для изучения рельефа поверхности тонких пленок использовались сверхвысоковакуумный сканирующий зондовый микроскоп JEOL JSPM 4610 и зондовый микроскоп Ntegra Spectra. По результатам измерений толщина осажденного слоя составляла от 22 нм до 208 нм. Зависимость толщины слоя от режима обработки имеет экстремальный характер. Значение средней шероховатости поверхности пленки изменялось от 2 нм до 18 нм.

### Литература

1. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . М.: Наука, 1972.
2. Осаждение тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  методом импульсной лазерной абляции /И.С. Вирт [и др] - Физика и техника полупроводников, 2010. - т.44.

УДК 621.375.826

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ОКИСЛОВ С МЕДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

Любовь Николаевна Баландина, Кирилл Леонидович Попов

*Студенты 5 курса,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.А. Коротаева,  
аспирант кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Одним из самых перспективных направлений лазерной обработки стало использование лазеров в реставрации археологических находок и произведений искусства, в том числе различных металлических артефактов. В данной области лазер применяется в качестве инструмента для очистки поверхности от окислов органических загрязнений, при этом, не изменяя ни фазовый состав металла, ни рельеф поверхности.

Металлические изделия, незащищённые перед воздействием воздуха, почвы (например, археологические находки) или воды, могут иметь на своей поверхности различные коррозионные слои. Бронза, медь и серебро имеют относительно высокую сопротивляемость окружающей среде, но, несмотря на это, с течением времени покрываются тонкой сложной по составу коркой оксидов. Железные же объекты сравнительно больше подвержены коррозии [1].

Основными проблемами, возникающими при очистке металла лазером, являются локальное микроплавление и обесцвечивание металлической поверхности.

При взаимодействии лазерного излучения со сложным по составу загрязнением, которое образовалось под действием окружающей среды, будут происходить процессы, зависящие как от параметров лазерного излучения (длина волны, длительность импульса, мощность излучения, положение фокуса), так и от оптических свойств загрязнения (коэффициент отражения, коэффициент поглощения). Таким образом, перед очисткой металлической поверхности необходимо оптимизировать параметры лазера на основе анализа оптических свойств очищаемой поверхности. А мощность лазерного излучения должна быть такой, чтобы испарять загрязнения и окислы, но при этом минимальным образом воздействовать на основной металл. Существует ещё один способ обеспечения большей сохранности изделия при лазерной обработке. Он заключается в нанесении на поверхность изделия перед обработкой тонкого слоя воды или спиртосодержащей жидкости, которая проникает внутрь загрязнённого слоя. При этом часть энергии поглощается жидкостью и при быстром температурном расширении жидкости слой загрязнения удаляется. Такая очистка называется влажной. По сравнению с сухой взаимодействие лазерного излучения с основным металлом уменьшается, что благотворно влияет на сохранность. Также следует сказать, что в процессе взрывообразного испарения участвуют используемые для защиты поверхности, вещества с низкой температурой плавления (например, воск, масла) [2].

Лазерная очистка заключается в местном нагреве загрязнения лазерным излучением. При этом слой удаляется по причине процессов быстрого термического расширения и абляции структур, имеющих более высокий коэффициент поглощения излучения и меньшую температуру испарения, чем основной металл.

В данной работе будет рассмотрено воздействие лазерного излучения на оксиды меди на примере окисленных медных монет, на которых имеется множество очагов окисления. Они образуются под воздействием влажной атмосферы, сернокислых и солевых соединений в почве. При этом медь разрушается с образованием продуктов коррозии, которые представлены в табл. 1. На археологических находках из меди продукты коррозии имеют сложное строение и состав. В основном это оксиды и соли меди, но также могут присутствовать и оксиды олова и других элементов, входящих в сплав, из которого сделано изделие [3].

Табл. 1. Типичные продукты коррозии меди

Химическое и минералогическое название	Химическая формула	Цвет
Гидрокарбонат (азурит)	$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$	синий
Гидрокарбонат (махахит)	$Cu_2(OH)_2CO_3$	зеленый
Закаись меди (куприт)	$Cu_2O$	красный
Черновая медь (тенорит)	$CuO$	серый и черный
Хлористая медь (нантоцит)	$CuCl$	белый
Хлорид меди (II)	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	синий
Гидрооксихлорид меди	$Cu_2(OH)_3Cl$	зеленый
Сульфид меди (халькоцит)	$Cu_2S$	черный
Сульфид меди (ковеллин)	$CuS$	сине-черный
Сульфат меди (гидрокианит)	$CuSO_4$	зеленый
Гидросульфат (антлерит)	$Cu_3(SO_4)(OH)_4$	зеленый
Гидросульфат (брошантит)	$Cu(SO_4) \cdot 3Cu(OH)_2$	зеленый
Силикат меди (хризокотла)	$CuSiO_3 \cdot 2H_2O$	сине-зеленый

В следующей таблице (табл. 2) представлены оптические свойства меди в зависимости от длины волны излучения:

Табл. 2. Оптические свойства меди в зависимости от длины волны излучения

Длина волны (мкм)	Коэффициент поглощения ( $см^{-1}$ )	Коэффициент отражения
0.266	$7.8 \times 10^5$	0.23
0.5	$7.14 \times 10^5$	0.43
0.8	$7.7 \times 10^5$	0.86
1.06	$7.7 \times 10^5$	0.90
10.6	$7.7 \times 10^5$	0.99

Как можно видеть из таблицы, Nd:YAG лазер с длиной волны 1.06 мкм должен подойти для наших исследований, так как высокий коэффициент отражения обеспечивает сохранность изделия от оплавления.

### Литература

1. P. Pasquet, P. Psyllaki, R. Oltra, J.P. Boquillon, P. Leiderer, J. Boneberg, S. Joiret, A. Hugot-Le Goff. Laser Cleaning of Oxidised Metallic Materials: Role of the Optical Properties of the Oxide Films. - Laser Techniques and Systems in Art Conservation, Renzo Salimbeni, Editor, 2001, pp 38-41.
2. Lee J. M., Watkins K. G. Laser removal of oxides and particles from copper surfaces for microelectronic fabrication. // Optics Express, Vol. 7, No. 2, 2000, pp 68-76.
3. Siano S., Grazi F., Парфёнов В.А. Лазерная очистка позолоченных бронзовых поверхностей // Оптический журнал. – 2008, №7, том 75, с. 18-29.
4. *Геращенко М.Д.* Лазерная очистка медных поверхностей. – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет.
5. Salimbeni R., Pini R., Siano S. Controlled laser ablation for the restoration of artworks: principles and applications. - Institute of Quantum Electronics, Florence, Italy, pp 18-26.
6. Jie Zhang, Youneng Wang, Peng Cheng, and Y. Lawrence Yao. Effect of pulsing parameters on laser ablative cleaning of copper oxides // Journal of applied physics 99, 064902, 2006.



**Секция №13**  
**Реновационные технологии**

УДК 620.179.112

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ДОРНОВАНИЯ И РЕДУЦИРОВАНИЯ**

Анастасия Вячеславовна Бодарева

*Аспирант 1 года,  
кафедра «Технологии обработки металлов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Воронцов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В современном автомобилестроении до 90% всех деталей изготавливают методами обработки металлов давлением, причем наиболее применяемым методом по праву является холодная объемная штамповка.

Широкое применение объясняется тем, что в процессе обработки не требуется проводить предварительный нагрев заготовки, что значительно улучшает качество поверхности получаемых изделий из-за полного отсутствия окисления. В большинстве случаев холодная объемная штамповка является малоотходным процессом, имея высокий коэффициент использования металлов (порядка 90%). При холодной объемной штамповке резко повышается точность формообразования вследствие отсутствия значительных температурных деформаций заготовки и инструмента, а так же повышается производительность, сводя время получения деталей к секундам и даже долям секунды. Процесс холодной объемной штамповки сравнительно легко поддается автоматизации, улучшает условия и безопасность производства. К преимуществам следует отнести и тот факт, что после холодной объемной штамповки не требуется применение операций резания для доводки изделий.

В последнее время интенсивное развитие получили методы редуцирования и дорнования, обладающие широкими технологическими возможностями и высокими технико-экономическими показателями. Редуцирование относится к числу высокоэффективных процессов получения полых ступенчатых деталей типа втулка. Комбинирование методов дорнования и редуцирования основано на совмещении обработки отверстия дорном с редуцированием наружной поверхности жесткой фильерой.

Процессу свойствен ряд особенностей – фильера имеет такую внутреннюю поверхность, что наружная поверхность отверстия получает после обработки свойства внутренней поверхности фильеры при высокой точности и малой высоте неровностей.

Отметим важную роль смазывающего материала для проведения операции обработки поверхности комбинированными методами. При обработке отверстий методами дорнования и редуцирования неправильный выбор смазки может резко ухудшить качество обрабатываемой поверхности, привести к понижению стойкости инструмента и увеличению силы дорнования. Отсутствие смазки в процессе дорнования приводит к налипанию металла на поверхность дорна, что может вызвать его заклинивание.

При выборе смазочного материала необходимо исходить из условия получения наилучшей чистоты обработанной поверхности. Для этого смазочный материал хотя бы частично должен устранять непосредственный контакт между дорном и поверхностью отверстия обрабатываемой детали, т.е. поддерживать трущиеся поверхности на расстоянии друг от друга.

Как правило, при дорновании применяются жирные кислоты, соединения глицерина с пальмитиновой кислотой, эмульсия Укринол, эмульсия Аквол-2, масло МР-1 (для омедненных поверхностей). В данной работе рассмотрено воздействие композиции на основе масла И-40 с добавлением металлоплакирующей маслорастворимой присадки «Валена» (ТУ 0257-001-17368431-05) на качество трубной заготовки, обрабатываемой методом комбинированного дорнования и редуцирования по наружной и внутренней поверхностям.

Металлосодержащая маслорастворимая композиция представляет собой густую пасту темно-зеленого цвета, кинематическая вязкость при 100 0С составляет 15 мм<sup>2</sup>/с. Правильно подобранный смазочный материал способен уменьшить параметр Ra обработанной поверхности и снизить коэффициент трения.

В работе проведена серия экспериментов по определению влияния процентного содержания присадки на качество поверхности и шероховатость. За начальную концентрацию принята 10% доля присадки в общем объеме смазочной композиции, вводимой в зону трения при дорновании. Так же проведены испытания с композицией в 15%, 20% и 30% содержанием металлоплакирующей присадки «Валена».

Режимы деформирования разделяют на три категории: легкий, средний, тяжелый. Как показал эксперимент для снижения величины износа, применение комбинированных методов обработки металлов давлением, осуществляемых при различной концентрации металлоплакирующей присадки «Валена», возможно при всех трех режимах деформирования.

Для легкого и среднего режимов повышение концентрации металлоплакирующей присадки «Валена» по (ТУ 0257 001-17368431-05) влияет на уменьшение величины износа Ул:

- для легкого режима на 20%,
- для среднего режима на 15%,
- для тяжелых условий работы узлов трения, какими являются

комбинированные методы обработки металлов давлением, с увеличением концентрации металлоплакирующей присадки «Валена» усилия существенно снижаются при 15% концентрации присадки на 10%, при 25% концентрации присадки на 20%, а при 30% концентрации на 28%.

Для легких режимов снижение величины износа обеспечивает снижение расхода масляной составляющей смазывающей композиции. Для среднего режима в связи с более интенсивным проявлением эффекта безызносности кроме снижения износа следует отметить, что в периоде до появления задиров увеличивается в 3-5 раз ресурс работы сопряжения. Таким образом, эксперимент подтверждает целесообразность применения металлоплакирующей присадки «Валена» при различных режимах нагружения трибосопряжений.

Процессы дорнования и редуцирования широко применяются в производстве. Они позволяют получить высокую точность, например, при изготовлении многофункциональных втулок, применяемых в сельскохозяйственных машинах. Качество внутренней и внешней поверхностей деталей такого типа целесообразно



улучшать обработкой комбинированными методами совместного редуцирования и дорнования с применением металлоплакирующей присадки «Валена».

### Литература

1. Ю.Г. Проскуряков, В.Н. Романов, А.Н. Исаев. Объемное дорнование отверстий. М.: Машиностроение, 1984.-223 с.
2. Д.Н. Гаркунов, В.Г. Бабель, С.М. Мамыкин, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. Новые направления в триботехнике и их использование в повышении износостойкости механизмов и машин. М.: Издательство МСХА, 2007. 58 с.
3. Н.Н. Зубков, И.Г. Кременский, С.Г. Васильев. Восстановление изношенных поверхностей с использованием металлорежущего оборудования. М.: Машиностроение, 2001.– 415 с.

**УДК 53.084.823**

## ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРОВАННЫМ МОДЕЛЯМ

Кирилл Александрович Иванов

*Студент 4 курса,  
кафедра «Подъемно-транспортные системы»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Ф. Третьяков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Технология обработки  
материалов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Литьё по газифицированным моделям (ЛГМ) – это способ литья, позволяющий получать отливки массой от 10 грамм до 2000 килограмм с чистотой поверхностного слоя Ra10, с точностью до 7 класса по ГОСТ 26645-85. Литьё по газифицированным моделям как новый технологический процесс появился в середине 60-х годов. Его главным назначением было повысить точность литья при значительном уменьшении затрат на оборудование и расходные материалы по сравнению с литьём по выплавляемым моделям. Способ ЛГМ позволил получать отливки равные по точности и физико-механическим свойствам отливкам, полученным литьём по выплавляемым моделям, при уровне затрат сопоставимом с литьём в песчаные формы.

Отличительными особенностями способа ЛГМ являются использование моделей из пенополистирола, отсутствие стержней и упрочнение формы вакуумом.

На основе проведенного анализа установлено, что способ ЛГМ обладает следующими преимуществами по сравнению с литьём в песчаные формы:

- Снижение производственных отходов;
- Уменьшение себестоимости моделей;
- Сокращение числа технологических операций;

- Снижение трудозатрат и потребления электроэнергии в 2...4 раза;
- Сокращение операций механической обработки отливок;
- Возможность полной автоматизации процесса литья.

Для литья по газифицированным моделям используются практически все марки чугунов, в том числе и износостойкие; стали от углеродистых до высоколегированных, теплостойких и жаропрочных; практически все литейные марки бронз, латунь и алюминий.

Применение технологии литья по газифицируемым моделям существенно уменьшает загрязнение окружающей среды. При заливке металла в форму, вредные вещества выделяются в воздух производственного помещения, и его очистка представляется довольно сложным мероприятием. При использовании ЛГМ модель для отливки создается из пенополистирола. В процессе выжигания полистирол полностью разлагается на газообразные составляющие. Опоки с моделями для заливки подключены к вакуумной системе, поэтому все вредные газы поступают сразу в систему очистки, практически не попадая в помещение, а антипригарные покрытия на водных связующих практически не загрязняют песок и легко отделяются при просеивании в системе охлаждения. Применение способа ЛГМ позволило снизить отходы литейного производства: пыль – на 68%; окись серы – на 85%; твердые отходы – на 99%; полностью избежать выбросов окиси углерода в атмосферу.

Технология ЛГМ продолжает активно развиваться во всем мире, но многие российские компании продолжают использовать устаревшие способы литья – более дорогие, требующие больше усилий и времени. Способ ЛГМ является универсальным и в будущем сможет заменить практически все существующие на сегодняшний день способы литья. Внедрению современного способа литья по газифицируемым моделям мешает недостаток информации и укоренившиеся стереотипы. Развитие этой перспективной технологии необходимо начинать с внедрения информации в образовательные программы и учебные пособия по технологии конструкционных материалов, проведения научно-исследовательских работ и разработки интерактивных методик обучения.

### Литература

1. *Третьяков А.Ф.* Технология конструкционных материалов. Курс лекций: учеб. пособие (с мультимедийным пособием на оптическом диске) – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 327 с.
2. *Шуляк В.С.* Литьё по газифицированным моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
3. *Мацяс Ю.А.* Пенополистирол и его применение в технологии ЛГМ. Доклад в сб. трудов 1-й Международной научно-практической конференции «Литьё по газифицируемым моделям» – СПб.: 2007. – 58 с.
4. *Ефимова Н.П., Выдрин Б.И.* Проблемы производства отливок по газифицируемым моделям. Доклад в сб. трудов 1-й Международной научно-практической конференции «Литьё по газифицируемым моделям», – СПб.: 2007. – 58с.

**УДК 004.92**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКИ ПРИ СОЗДАНИИ АНИМИРОВАННЫХ ИЛЛЮСТРАЦИЙ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ**

Иван Андреевич Никифоров, Константин Викторович Николаев

*Студенты 3 курса,  
кафедра «Технологии обработки материалов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Ю. Вуколов  
ассистент кафедры «Теория механизмов и машин»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Т.к. с каждым днем наука развивается все стремительней и тех методов исследования, которые применялись раньше, становится не достаточно, возникает потребность в новых инструментах. Все больше и больше возрастает роль компьютерных технологий в научной среде. Помимо холодных расчетов требуется полная визуализация исследуемого процесса, для того чтобы наглядней представлять всю картину в целом. Для этой цели применимо использование трехмерного моделирования.

Также существует другая область, в которой можно использовать трехмерное моделирование – это обучение. Зачастую материал, написанный в учебных пособиях, достаточно сложен для понимания. Не всегда удается с первого раза четко представить тот или иной процесс, решение, задачу. Трехмерно моделирование с применением аниматроники позволяет значительно улучшить качество и скорость понимания сложной информации.

Нашей главной целью было создать трехмерную анимированную иллюстрацию для интерактивного учебного пособия.

Был проведен сравнительный анализ популярных программ 3D моделирования:

Табл. 1. Программы 3d моделирования

<b>№</b>	<b>Производитель</b>	<b>Название</b>
<b>1</b>	MAXON	Cinema 4D
<b>2</b>	Autodesk	Inventor
<b>3</b>	SolidWorks Corporation	SolidWorks
<b>4</b>	Dassault Systèmes	Catia
<b>5</b>	Autodesk	3ds Max

В работе описан процесс создания анимации, с помощью каких инструментов и функций программы можно наиболее полно достигнуть нужного эффекта. Мы уделяем анимации большое внимание, так как именно с ее помощью можно более наглядно пронаблюдать какой-либо процесс или объект в действии, а не только в статичном виде.

В ходе сравнения были рассмотрены основные достоинства и недостатки каждой программы, в результате чего была выбрана программа №5, так как она занимает доминирующее положение в своей области, предоставляя огромный набор инструментов для 3d моделирование, имеет широкий спектр возможностей для создания анимации, идеально подходит для решения нашей задачи и в то же время не отягощен лишними функциями.

**УДК 621.2.082.18**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ БАЗОВОГО МАСЛА С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ**

Зульфья Сулпановна Рахмангулова, Ирина Александровна Сентяева

*Студентки 3 курса,  
кафедра «Технологии обработки металлов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Бодарева,  
преподаватель кафедры «Технологии обработки материалов»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Развитие техники и, в частности, машиностроения, придало проблеме уменьшения изнашивания узлов деталей машин огромную значимость с точки зрения экономии материальных ресурсов. Ряд конструкторов, технологов, эксплуатационников принимает участие в решении проблем уменьшения износа пар трения. Ввиду большого количества противоизносных композиций, потребитель зачастую не знает, каким композициям отдать предпочтение.

Данная работа направлена на экспериментальное исследование и сравнительную оценку противоизносных присадок на основе наночастиц. Основным критерием сравнения противоизносных композиций является термостойкость, так как тепловые явления, наряду с напряжениями, влияя самостоятельно на трение и износ, являются процессами образования водорода и способствуют внедрению его в зону контакта, что, в конечном итоге, является разрушительной силой. Для безаварийной работы узла трения необходимо обеспечить высокое качество поверхностей трибосопряжения.

Основной задачей данной работы является выбор наиболее оптимальной противоизносной композиции на основе наночастиц по критерию термостойкости и износостойкости смазочных материалов.

Экспериментальные работы проводились на машине трения МТ-10, в процессе которых моделировались реальные условия.

Для составления композиций используем:

1. В качестве рабочего материала - масло ТНК Magnum SAE 15W-40. ТНК Magnum Mineral изготавливается на основе гидроочищенных минеральных базовых масел с использованием патентованных импортных технологий и компонентов;

2. В качестве присадок: фиксатор состояния сопряжений «Сурм-ФС» (СУРМ-Фиксатор Состояния). Введение композиции СУРМ-ФС в масло позволяет оптимизировать состояние сопряжений в парах трения;

3. Металлоплакирующий смазочный материал - металлосодержащая маслорастворимая композиция «Валена» (ТУ 0257-001-17368431-05).

Для сравнения выбираем следующие композиции:

Табл.1. Состав композиций

№ п/п	Композиция	Базовое масло		Присадки	
		ТНК Magnum	50 мл		
1.	Масло ТНК Magnum SAE 10W-40	ТНК Magnum 15W-40	50 мл	-	
2.	Масло ТНК Magnum 15W-40+ Р.СФ2,5%	ТНК Magnum 15W-40	50 мл	Сурм-Фиксатор	1,25 мл
3.	Масло ТНК Magnum 15W-40+ Р.СФ 2,5%+ Валена 0,5%	ТНК Magnum 15W-40	50 мл	Сурм-Фиксатор	1,25 мл
				«Валена»	0,25 мл

Образовавшаяся в ходе опытов нанопленка способствует предохранению поверхностного слоя металла от катастрофического разрушения, уменьшает размеры износа, величину которого оцениваем по пятну контакта, по формуле

$$S_{нк} = \pi \cdot \frac{A}{2} \cdot \frac{B}{2},$$

где  $S_{нк}$  - площадь пятна контакта;

A и B - большая и малая полуоси пятна контакта

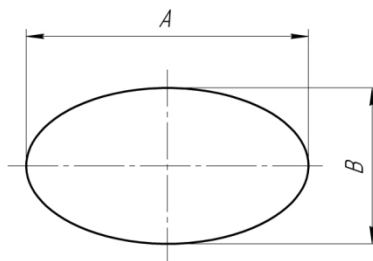


Рис.1. Пятно контакта, оси эллипса

В ходе экспериментов было выявлено, что наиболее эффективной композицией по критерию термостойкости является композиция №3, а по критерию износостойкости - композиция №2.

При концентрации металлосодержащей маслорастворимой присадки на медной основе «Валена», превышающей 10%, не обнаружено эффекта снижения интенсивности изнашивания контактирующих поверхностей. Наиболее приемлемой и рекомендуемой концентрацией в базовом масле считать от 7..10% .

### Литература

1. Хрущов М. Трение и изнашивание при высоких температурах. -М.:Наука,1993.-154 с.
2. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. Краткий курс.-М.,2008.-308 с., ил.143.
3. Исаченков Е.И. Контактное трение и смазки при обработке материалов давлением. - М.: Машиностроение, 1978. -206 с.

**УДК 621.892.92**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ**

Лилия Андреевна Мельникова, Даниэль Валерьевич Умаров

*Студенты 3 курса,  
кафедра «Технология обработки материалов»,  
Московский государственный технически университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Бодарева,  
преподаватель кафедры «Технология обработки материалов»,  
Московский государственный технически университет имени Н.Э. Баумана*

Трение - удивительный феномен природы. Оно подарило человеку тепло, огонь и многое другое. Его изучали многие ученые такие, как Леонардо да Винчи, Ломоносов, Кулон, Эйлер, Менделеев и многие другие. Сегодня в нашей стране этим феноменом занимаются такие профессора, как Грязнов Б.Т., Дроздов Ю.Н., Евдокимов Ю.А., Проников А.С., Сорокин Г.М., Чичинадзе А.В. и другие. До настоящего времени трение во многих его аспектах остается загадкой. И сегодня с этим связана одна из самых больших проблем современности - износ машин и механизмов. Расходы на восстановление огромны, причем ежегодно они увеличиваются. Развитие техники и, в частности, машиностроения, придало проблеме повышения долговечности машин огромную значимость с точки зрения экономики материальных ресурсов и рабочей силы и приобщило к этой проблеме широкий круг конструкторов, технологов, эксплуатационников, а так же ученых различных специальностей. По своей сути трение - это не только износ, но возможно и восстановление. Был открыт феномен «безизносного» трения - это фундаментальное открытие Дмитрия Николаевича Гаркунова доказало, что трение может не только разрушать, но восстанавливать и улучшать свойства поверхности деталей. При определенном соотношении смазочного материала и присадки возможно существенное улучшение ресурса пары трения.

Важное значение в узле трения имеет качество поверхности. До середины 90-х годов 20 века считались важными только: параметр твердости и шероховатости. Последние исследования показывают, что помимо вышеперечисленных параметров более существенное влияние оказывают: условия трения и смазочный материал.

Целью данной работы является исследование свойств смазочных материалов, а так же определение износостойкости и термостойкости материала пары трибосопряжения.

В основе данной статьи лежит исследование термостойкости смазочных композиций на основе минерального масла, глицерина, а так же композиций с добавлением медного купороса и металлоплакирующей присадки на медной основе «Валена».

Испытания проводят в следующей последовательности:

- наполняют съёмную ванну машины трения смазочным материалом или композицией смазочного материала с присадкой. Композицию тщательно перемешивают, включив вращение ролика на 30 секунд. Уровень заполнения ванны смазочным материалом – на 1...3 мм ниже оси симметрии ролика
- устанавливают образцы в систему рычагов и нагружают её двумя грузами.
- в течении одной минуты осуществляют приработку пары трения. Приработка, как правило, сопровождается сначала шумом и скрежетом, затем к концу приработки звук стихает, наступает установившийся режим трения.
- в течении последующих двадцати минут образцы нагружают четырьмя грузами, непрерывно или с интервалом в три минуты, регистрируют с помощью хромель-алюминиевой термопары.
- температуру саморазогрева смазочного материала в ванне на расстоянии 1...3 мм от зоны трения образцов с помощью устройства М-836 для контроля температуры или с помощью датчика температуры, подключённого к ПЭВМ с помощью согласующего устройства и соответствующего программного обеспечения.
- по истечении 20 минут машина трения останавливается, образцы, ролики и ванна промываются, обезжириваются, просушиваются для следующего испытания.
- поверхность ролика зачищается с помощью шлифовальной бумаги в течении 10...20 секунд при включённом шпинделе (400 об/мин). Шлифовальная бумага при этом накладывается на твёрдую подложку.
- образцы промываются, обезжириваются, просушиваются и отправляются на обработку результатов испытаний.
- все результаты испытаний заносятся в протокол.

#### **Выводы:**

1. Наибольшей термостойкостью обладает смазочный материал №6 - Минеральное масло + неорганический загуститель(ограниченное количество) + Валена (10%).
2. Наименьшей термостойкостью обладает смазочный материал № 3 - Глицерин + неорганический загуститель + медный купорос (10%)
3. Наибольшей износостойкостью обладает смазочный материал №1 - Минеральное масло + неорганический загуститель + медный купорос (10%)
4. Наименьшей износостойкостью обладает смазочный материал №6 - Минеральное масло + неорганический загуститель(ограниченное количество) + Валена (10%).

#### **Литература**

1. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника, краткий курс, М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008год – 365с.
2. Гаркунов Д.Н. Эффект безызносности при трении, водородное изнашивание металла, М.: МСХА, 2007год. - 383с
3. Трение и изнашивание при высоких температурах. - Наука, 1993. - 154с.
4. Способы снижения интенсивности изнашивания алюминиевых сплавов при прокатке. Ремонт восстановление модернизация. - №12. - 2011.-87 с.

УДК 621.9

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТАНКА 16К20Ф3

Валерий Валерьевич Шпак<sup>(1)</sup>, Кузьма Олегович Климочкин<sup>(2)</sup>

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 2 года<sup>(2)</sup>,  
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»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Охлаждение зоны резания играет важную роль в повышении производительности механической обработки и обеспечении качества продукции. Одним из эффективных способов охлаждения зоны резания является метод охлаждения ионизированным охлаждённым воздухом [1]. Данный метод обеспечивает значительное повышение производительности, снижение шероховатости поверхности, улучшение экологических условий на предприятии по сравнению с применяемыми жидкостными смазывающе-охлаждающими технологическими средствами (СОТС) [2, 3].

Станки с числовым программным управлением модели 16К20Ф3 получили широкое распространение. И на сегодняшний день модернизация парка станков данной модели является актуальной задачей. Оснащение станков модели 16К20Ф3 системой охлаждения зоны резания охлаждённым ионизированным воздухом (ОИВ) является важным фактором повышения производительности этого оборудования.

Базовая система подачи охлаждающей жидкости имеет вид, представленный на рис. 1. Жидкость подаётся из бака охлаждающей жидкости 1 с помощью насоса подачи жидкостного СОТС 2 по трубке в канал револьверной головки УГ9321 (рис. 2), затем она через устройство подачи поступает на многопозиционный резцедержатель 3, откуда через сопловую насадку попадает в зону резания.

Модернизация системы охлаждения требует следующих решений:

1. Обеспечение возможности подачи как жидкостных СОТС, так и газообразных.

2. Размещение устройства охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ) максимально близко к зоне резания для наименьшей потери ионизации воздуха и пониженной температуры. Изоляция каналов между ионизатором и резцедержателем.

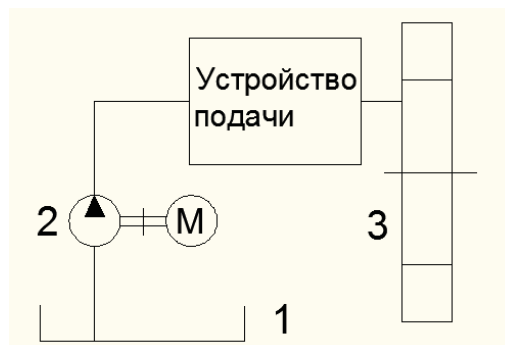


Рис. 1. Схема пневматической системы охлаждения станка 16К20Ф3





Рис. 2. Револьверная головка УГ9321

Изменение конструкции системы охлаждения (рис. 3) заключается в замене стандартного устройства подачи, рассчитанного на пропускание только жидкости, на устройство подачи, способное пропускать как охлаждающую жидкость, так и воздух с попутной его ионизацией и охлаждением. Так же необходимо в цепи подачи после насоса установить распределитель, переключающий подачу воздуха с подачи жидкостного СОТС.

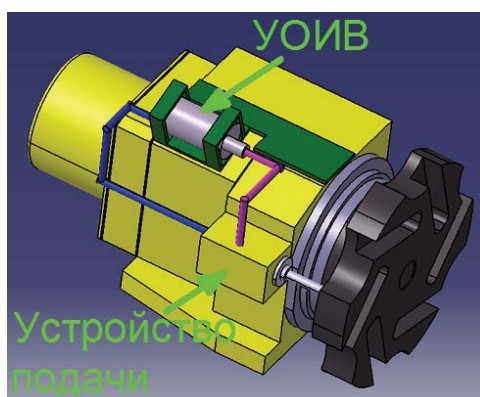


Рис. 3. Модернизированная револьверная головка УГ9321

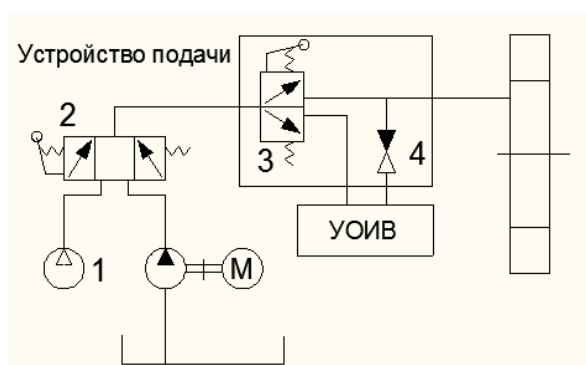


Рис. 4. Схема модернизированной пневматической системы охлаждения станка 16К20Ф3

В состав модернизированной системы охлаждения (рис. 4) кроме базовых составляющих входит компрессор 1, распределитель 2, распределитель 3, встроенный в новое устройство подачи, УОИВ и обратный клапан 4.

**Выводы:**

1. Разработаны пневматическая и электрическая схемы подключения системы охлаждения ионизированным воздухом.
2. Разработана конструкторская документация по модернизации системы охлаждения станка модели 16К20Ф3.

**Литература**

1. *Татаринов А.С., Петрова В.Д.* Возможности и перспективы применения газообразного охлаждения при обработке резанием. / ISSN 0236-3941. - Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение, 1995. - №4.
2. *Климочкин К.О., Есов В.Б.* Модернизация системы охлаждения металлорежущих станков с применением устройства охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ). - Ремонт, Восстановление, Модернизация, 2011.
3. *Климочкин К.О., Есов В.Б., Мурадов К.Р., Хурматуллин О.Г.* Применение охлаждённого ионизированного воздуха при высокоскоростном фрезеровании. - Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 13 №4(4). - 2011г.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

## Содержание

	стр.
Секция №1. Металлорежущие станки и оборудование .....	5
<i>Л.В. Кабакова.</i> Тензорезисторные преобразователи «кнс» и их применение в станкостроении .....	6
<i>И.В. Шемякин.</i> Нарезание ходовых винтов на токарно-винторезных станках с использованием прогрессивных инструментальных материалов .....	7
<i>А.С. Габриелян, А.С. Баланда.</i> Особенности автоматизированного проектирования и подготовки управляющих программ в интегрированной CAD/CAM системе NX (Unigraphics) .....	10
<i>Е.М. Загороднюк, И.П. Иванов.</i> Перспективные методы борьбы с тепловыми деформациями металлорежущих станков .....	11
<i>С.В. Лаврова, К.А. Герасимов.</i> Разработка теории тепловых смещений, позволяющей системно анализировать влияние факторов на точность обработки на станке .....	13
<i>М.Ю. Чупов.</i> Обеспечение качества сборочных единиц космической техники на основе адаптивных систем .....	15
<i>А.Г. Ширшов.</i> Автоматизация исследований силовых смещений упруго-фрикционной системы .....	16
<i>Д.С. Архипов, А.А. Ванюшкин.</i> Разработка конструкции прецизионного шпинделя для станков мощностью до 5 кВт .....	18
<i>А.С. Клецов.</i> Методика экспериментальной оценки параметрической надежности станков фрезерной группы .....	19
Секция №2. Инструментальная техника и технологии.....	21
<i>М.А. Виноградов.</i> Установка для оценки обрабатываемости конструкционных материалов .....	22
<i>В. В. Лапшин.</i> Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора .....	24
<i>Н. А. Зюзина.</i> Профилирование резьбовых фрез .....	26
<i>С.Ю. Коровушкин.</i> Сетки, получаемые растяжением листовой заготовки обработанной методом деформирующего резания .....	27
<i>В.А. Косырев.</i> Исследование процесса колебаний при резьбофрезеровании .....	29
<i>С.А. Погодин.</i> Конструирование автоматизированной установки для оребрения труб .....	31
<i>А.О. Потапенко.</i> Режущий инструмент, изготовленный из переработанного твердого сплава .....	33

	стр.
<i>А.С. Трофимович.</i> Получение штырьковых теплообменных структур методом деформирующего резания .....	34
<i>А.А. Угольников.</i> Исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) при обработке различных конструкционных материалов .....	36
<i>М.А. Чихарева.</i> Определение минимального значения силы резания при точении по методу множителей Лагранжа .....	38
<i>А.Е. Шаповалова.</i> Сравнение энергопотребления при фрезеровании торцевой и цилиндрической фрезами .....	40
<i>П.Ю. Щёлокова.</i> Алгоритм нахождения режимных параметров минимального энергопотребления на примере сверления .....	42
<i>М.С. Лужанский.</i> Наростообразование и работоспособность режущего инструмента .....	43
<i>Н.В. Хорьков.</i> Современные пути повышения работоспособности отрезных фрез .....	45
Секция №3. Технологии машиностроения .....	47
<i>М.С. Ёлкин.</i> Назначение режимов резания при чистовой обработке дисков ГТД с учетом покрытий режущего инструмента .....	48
<i>Э.С. Бирюков.</i> Измерение параметров торможения в гиперзвуковых потоках ..	50
<i>Э.В. Харитонов.</i> Формирование технологически ориентированных структур в пространстве механосборочного комплекса .....	52
Секция №4. Метрология и взаимозаменяемость .....	55
<i>А.Д. Лиморенко.</i> Исследование влияния структуры алгоритмов на точность управления .....	56
<i>Р.С. Нахушев.</i> Микроконтроллерная обработка результатов измерения радиального биения цилиндрической детали .....	57
<i>А.Б. Сырицкий.</i> Исследование поверхностного дефекта напыления хрома на стекле с помощью сканирующей туннельной микроскопии .....	58
<i>Б.И. Хасанов.</i> Прецизионный стробоскоп .....	60

	стр.
Секция №5. Литейные технологии .....	63
<i>К.К. Халикова.</i> Дефекты моделей при ЛВМ и способы их устранения .....	64
<i>Д.А. Бондарчук.</i> Долговечность песчано-глинистых формовочных смесей .....	65
<i>С.В. Семенов.</i> Исследование работы вентиляционной системы в процессе заполнения пресс-формы металлом .....	67
<i>Ю.О. Фокин, Л.В. Пастухов.</i> Создание высоких скоростей охлаждения аморфных микроотливок .....	68
<i>А.А. Щербатых.</i> Исследование влияния использования вторичного сырья на качество ювелирных изделий .....	70
<i>О.Н. Битюцкая.</i> Применение наливных формовочных смесей для изготовления отливок из нержавеющей стали .....	71
<i>Д.А. Мельничук.</i> Анализ динамики процессов, протекающих в вибрационных транспортирующих решетках при пуске .....	72
<i>Т.И. Сивурова.</i> Проблемы разработки математических моделей в литье под низким давлением .....	74
<i>Д.Д. Коека.</i> Исследование влияния размеров элементов литниково-питающей системы на качество отливок в блоке .....	75
Секция №6. Оборудование и технологии обработки давлением .....	77
<i>И.Ю. Марухин, Е.А. Гурьянова.</i> Гидравлический трубогибочный пресс-автомат с устройствами автоматической подачи и резьбонарезания труб .....	78
<i>Р.А. Мурасов, К.С. Левушкин.</i> Особенности изготовления деталей коробчатой формы с отверстием в донной части вытяжкой-отбортовкой .....	79
<i>В.В. Марковцева.</i> Задача уменьшения величины радиуса зон сгиба гнутых профилей из листов авиационного сплава В95пчАМ .....	81
<i>А.И. Алимов.</i> Моделирование технологических процессов получения титановых колец .....	83
<i>Д.В. Барышева.</i> Анализ технологий изготовления детали из титанового сплава ..	85
<i>Э.Р. Басыров, И.О. Лисин.</i> Вопросы технологии производства замкнутого профиля с элементами жесткости .....	86
<i>Г.А. Галкина.</i> Исследование и разработка технологического процесса изготовления гофрированных пластин теплообменных аппаратов .....	87
<i>Г.Д. Григоренко.</i> Автоматические двухклетевые ковочные вальцы .....	89
<i>Е.К. Дунда.</i> Исследование процесса резки трубы плоским ножом .....	90
<i>Р.А. Егоров.</i> Наноструктурирование материала прутковых заготовок .....	92
	261

	стр.
<i>В.В. Емельянов.</i> Анализ технологического процесса вытяжки цилиндрической осесимметричной оболочки из биметаллического материала .....	94
<i>А.Ю. Зимин.</i> Горячее объемное двухстороннее выдавливание поковки типа крестовина .....	96
<i>А.С. Ипполитов.</i> Участок горячей объемной штамповки наконечника рулевой тяги на горизонтально-ковочной машине .....	97
<i>И.М. Койдан.</i> Стратегии и цели системы адаптивного программного управления технологическим процессом штамповки металла в твёрдожидком состоянии .....	99
<i>А.В. Кокорин.</i> Наноструктурирование металломатричных механических смесей в процессе интенсивного пластического деформирования .....	101
<i>М.Ю. Маштакова.</i> Сопоставление технологических показателей изготовления П-образных кронштейнов прессованием и выдавливанием .....	102
<i>В.В. Непомнящий.</i> Исследование процесса равноканального прессования композиционного материала, полученного методами порошковой металлургии .....	103
<i>И.А. Панова.</i> Поиск технологического варианта и разработки процесса штамповки детали типа "Анод" .....	105
<i>А.В. Поликарпов.</i> Проектирование техпроцесса штамповки боковины Рено Логан с помощью ПК Autoform .....	106
<i>А.Г. Семькин.</i> Разработка технологического процесса штамповки коленчатого вала с использованием программного комплекса QForm5.1 .....	108
<i>М.Г. Алленов.</i> Исследование и моделирование технологии горячей объемной штамповки коленчатых валов с направленной волокнистой структурой .....	110
<i>А.М. Дюжнев.</i> Выбор параметров зубчатой передачи механических прессов на основе анализа распределения контактных напряжений .....	111
<i>С.А. Карпов.</i> Виды дефектов при ротационной вытяжке: от поверхностных к внутрикристаллическим .....	112
<i>А.В. Колесов.</i> Испытания на сдвиг многослойного демпфирующего материала .....	114
<i>Н.Н. Лабанова.</i> Конструкция штампа с разъемными матрицами для штамповки детали «обойма» на кривошипном горячештамповочном прессе .....	116
<i>Т.В. Милевская.</i> Усовершенствование конструкции бабы молота .....	117
<i>Е.О. Яковлева.</i> Повышение предельного формоизменения за счет совмещения операций обжима, раздачи и вытяжки .....	119
<i>Ю.А. Филатова.</i> Анализ процесса изготовления, поиск технологического варианта и разработка процесса штамповки детали типа «фланец» .....	120

	стр.
Секция №7. Технологии сварки и диагностики .....	123
<i>Д.А. Петров.</i> Оценка угла раскрытия трещины ультразвуковым методом контроля .....	124
<i>Ю.Л. Рябиков.</i> Влияние цинкового покрытия и поверхностных загрязнений на качество сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой ...	126
<i>Н.Н. Абрамов.</i> Разработка питателя для подачи смеси порошков в вакууме .....	126
<i>С.Ю. Алексеева.</i> Магнитопорошковый контроль труб для магистральных нефтетрубопроводов .....	128
<i>Д.А. Бисовко.</i> Влияние конструкции чопа на напряженное состояние трубопровода .....	129
<i>П.П. Гвоздев.</i> Плазменно-порошковая наплавка антифрикционного сплава баббита марки Б83 .....	130
<i>А.В. Дорохина, А.В. Лисняк.</i> Особенности записи и обработки термических циклов при сварке .....	132
<i>С.А. Ли.</i> Обоснование необходимости термической обработки сварной рамы тележки вагона метро .....	133
<i>А.А. Линник.</i> Формирование корневого слоя шва на подкладной ленте при сварке под флюсом .....	134
<i>А.С. Микенина, М.В. Борзых, Л.Г. Бибилова.</i> Определение химической неоднородности стали путем высокотемпературных испытаний .....	136
<i>А.С. Монкина.</i> Технология ремонта подводного участка магистрального трубопровода .....	137
<i>З.Х. Муртазина.</i> Определение механических свойств металла неразрушающим методом .....	138
<i>А.А. Пирогова.</i> Оборудование и технология контрактной шовной сварки мембранных блоков .....	139
<i>П.А. Пономарев.</i> Обоснование необходимости послесварочной термической обработки кольцевых стыков магистральных газопроводов из высокопрочных сталей с повышенной толщиной стенки .....	141
<i>Е.С. Третьяков.</i> Сварка неплавящимся электродом с применением комбинированной защиты на примере труб малого диаметра .....	142
<i>А.С. Чечета.</i> Использование эффекта поперечной усадки для обжатия муфты на трубопроводе .....	144
<i>С.В. Гуркин.</i> Особенности сварки шаровых кранов для нефтегазотрубопроводов из конструкционных сталей .....	145



	стр.
Секция №8. Материаловедение в машиностроении .....	147
<i>Д.Е. Стрекалов, А.С. Меркулов.</i> Исследование деформируемого магнитотвердого сплава на основе системы Fe-Cr-Co с содержанием 15 масс. % кобальта, легированного молибденом, титаном и кремнием .....	148
<i>М.В. Ахмедзянов, С.В. Овсепян, А.С. Помельникова.</i> Высокотемпературный материал для жаровых труб перспективных газотурбинных двигателей .....	150
<i>Е.С. Евстюнина.</i> Компьютерный метод конструирования литейных жаропрочных никелевых сплавов .....	152
<i>О.И. Расторгуева, В.П. Мигунов, А.С. Помельникова.</i> Исследование уплотнений нового класса проточного тракта газотурбинного двигателя .....	153
<i>Е.Е. Шистка.</i> Исследование диффузионной подвижности азота и углерода в многослойных металлических материалах при химико-термической обработке .....	155
<i>Е.В. Афанасьева.</i> Влияние циклических нагрузок на распад цементитной фазы в ферритно-перлитных трубных сталях для нефтегазопроводов .....	156
<i>Е.С. Крылова.</i> Исследование структурных и фазовых превращений в теплостойких хромсодержащих сталях .....	158
<i>С.В. Путьрский.</i> Изучение деформационной способности многослойных металлических материалов методом конечно элементного моделирования .....	160
<i>К.Н. Сафарова.</i> Структурно-энергетическое состояние основного материала сварных труб газопровода и долговечность .....	162
<i>П.Ю. Круглов.</i> Возможности повышение ресурса работы формообразующего инструмента плазменным напылением алюмокерамических смесей .....	164
<i>М.Ю. Бехтина.</i> Сравнение морфологии и микроструктуры гранул из жаропрочных никелевых сплавов .....	166
<i>М.Ю. Бехтина.</i> Влияние фокусированного ионного пучка на поверхностные слои ленты из сплава $Ti_2NiCu$ .....	167
<i>И.Н. Кондратьева.</i> Технология получения слоистого композиционного материала системы Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	169
<i>В.И. Коннова.</i> Жаростойкость покрытий, полученных различными методами, на жаропрочных никелевых сплавах .....	171
<i>А.А. Шумова.</i> Изучение технологии изготовления, обработки и анализ структуры дисперсно-упрочненных частицами SiC Al-матричных композитных материалов .....	172
<i>А.Э. Гордей.</i> Технология химико-термической обработки: карбонитрация. Структура и эксплуатационные свойства карбонитридных слоев стали 25X2M1Ф .....	173
<i>А.В. Кузнецова, С.А. Кораблева.</i> Механические свойства ТРИП-сталей после различной механико-термической обработки .....	175

	стр.
<i>Н.А. Якушева.</i> Исследования возможности снижения температуры заковки мартенситностареющей стали типа ВКС-180 с целью увеличения энергоэффективности .....	177
Секция №9. Промышленный дизайн .....	181
<i>Я.А. Барменкова.</i> Дизайн автономного мобильного робота для соревнований «Евробот» .....	182
<i>А.И. Кленин.</i> Система эффективного управления образовательными услугами в области промышленного дизайна .....	183
<i>Е.И. Королева.</i> 3D визуализация промышленных роботов .....	184
<i>Е.А. Круглова.</i> Система панорамной регистрации местности .....	186
<i>Н.Ю. Островский.</i> Стан прокатки прессованием .....	187
<i>И.В. Селиванов.</i> Возможности дизайна в организации функционального пространства мобильной системы пожаротушения .....	188
<i>Д.Д. Спасская.</i> Эргодизайн рабочего места руководителя .....	190
<i>И.А. Филатов.</i> Макетирование в промышленном дизайне .....	191
<i>А.А. Яшин.</i> Установка для сверхзвукового газопламенного напыления покрытий JetSpray .....	192
<i>Н.И. Сафонова.</i> Дизайн-исследование пользовательских характеристик многофункционального терминала .....	193
<i>А.Ю. Свиридова.</i> Дизайн-разработка кухни для малогабаритных квартир .....	195
<i>Е.С. Паршина.</i> Дизайн-исследования по созданию модельного ряда информационно-платежных терминалов .....	197
Секция №10. Оборудование и технологии прокатки .....	199
<i>Е.В. Лагошина, А.Е. Комков.</i> Повышение качества холоднодеформированных труб .....	200
<i>И.И. Лубнин.</i> Литейно-прокатный агрегат для производства широкополосной стали .....	201
<i>А.А. Солякова.</i> Новая технология производства железнодорожных рельсов .....	203
<i>А.А. Солякова.</i> Новые металлургические заводы в центре РФ .....	205
<i>А.Е. Комков, Е.В. Лагошина.</i> Направления модернизации станков холодной прокатки труб .....	206
<i>А.Е. Лепестов.</i> Влияние поведения кромки в очаге деформации на качество производства трубной заготовки непрерывной валковой формовкой .....	208
	265

	стр.
<i>Д.А. Матурин, А.И. Хоменко.</i> Исследование влияния внеконтактных зон в процессах обработки металлов давлением .....	210
Секция №11. Электронные технологии в машиностроении .....	213
<i>Е.Н. Тушенцова.</i> Исследование антидиффузионных покрытий, получаемых магнетронным и электродуговым методом с сепарацией потока плазмы .....	214
<i>Е.В. Одинокова.</i> Требования к материалам в МОП-транзисторах с нанометровыми размерами элементов .....	215
<i>А.С. Селиваненко.</i> Система активной виброизоляции на основе магнитореологических эластомерных демпферов для нанотехнологического оборудования .....	216
<i>С.А. Степанов.</i> Обеспечение точности изготовления кремниевых полупроводниковых дисков-кристаллов методом сухого травления .....	219
<i>Р.О. Емельяненко.</i> Вакуумная автоматическая линия для обогащения наноструктур широкого применения изотопами водорода .....	220
<i>К.П. Осирко.</i> Исследование трибологических характеристик многослойных упрочняющих покрытий .....	222
<i>Ю. И. Симукова.</i> Анализ точности определения параметров опаловой матрицы при АСМ-исследовании .....	224
<i>И.Ю. Балашов.</i> Исследование новых технологических операций при изготовлении прецизионных печатных плат. Заполненные переходные отверстия .....	226
Секция №12. Лазерные технологии в машиностроении .....	229
<i>А.А. Приходько.</i> Комбинированная лазерная сварка алюминиевых сплавов .....	230
<i>И.С. Тычков.</i> Лазерная перфорация глубоких микронных отверстий в керамике Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	232
<i>Хтет Аунг Лин.</i> Оценка области использования лазерной обработки совмещенными тепловыми источниками .....	233
<i>А.Е. Шепелев.</i> Обработка газотермических покрытий с использованием непрерывного излучения СО <sub>2</sub> -лазера .....	234
<i>А.В. Пересторонин.</i> Анализ методов определения остаточных напряжений в сварных конструкциях .....	236
<i>Ю.А. Штоль.</i> Исследование процесса импульсного лазерного напыления пленок ZnO и GaN на кремниевые и сапфировые подложки .....	238

	стр.
<i>А.Е. Шупенев, Ю.М. Миронов.</i> Анализ поверхности тонких термоэлектрических пленок теллурида висмута полученных импульсным лазерным осаждением .....	239
<i>Л.Н. Баландина, К.Л. Попов.</i> Исследование очистки окислов с медной поверхности методом лазерной абляции .....	241
Секция №13. Реновационные технологии .....	245
<i>А.В. Бодарева.</i> Повышение эффективности и качества комбинированных методов дорнования и редуцирования .....	246
<i>К.А. Иванов.</i> Преимущества и перспективы развития литья по газифицированным моделям .....	248
<i>И.А. Никифоров, К.В. Николаев.</i> Применение трехмерной графики при создании анимированной иллюстраций для интерактивного учебного пособия .....	250
<i>З. С. Рахмангулова, И.А. Сентяева.</i> Исследование термостойкости противоизносных присадок на основе базового масла с добавлением наночастиц .....	251
<i>Л.А. Мельникова, Д.В. Умаров.</i> Исследование термостойкости смазочных материалов на основе меди .....	253
<i>В.В. Шпак, К.О. Климочкин.</i> Модернизация системы охлаждения станка 16К20Ф3 .....	255

СБОРНИК ТЕЗИСОВ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ  
СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ВЕСНА 2012:  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

4 – 7 апреля 2012г.  
г. Москва  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Все материалы сборника публикуются в авторской редакции.  
Ответственность за содержание материалов принадлежит авторам

Ответственный за выпуск: О.А. Белокуров  
Компьютерная верстка: Л.С. Панько, В.С. Аникина

Тираж 250 Заказ  
Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005 г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр.1, <http://www.bmstu.ru>

© Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции студентов  
Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии  
- М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.

