

Министерство науки и высшего образования РФ • Российская академия наук
Министерство промышленности и торговли РФ • Администрация Тамбовской области
Союз машиностроителей России • ПАО Газпром

НАУКА 

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
АССОЦИАЦИИ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ**



**«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ТРАНСПОРТНОМ И ХИМИЧЕСКОМ
МАШИНОСТРОЕНИИ»**



САЙТ КОНФЕРЕНЦИИ

Тамбов, 6–9 октября 2020



ТАМБОВ

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Министерство промышленности и торговли РФ
Администрация Тамбовской области
Союз машиностроителей России
ПАО Газпром
NAUKAO+
Тамбовский государственный технический университет

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСПОРТНОМ И ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

**Материалы XII Международной научно-технической конференции
Ассоциации технологов-машиностроителей**

Тамбов, 6 – 9 октября 2020 г.

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020

УДК 62
ББК 34.5
И66

Редакционная коллегия:

М. Н. Краснянский, д-р. техн. наук, профессор, профессор РАН,
ректор Тамбовского государственного технического университета;
В. М. Приходько, чл.-кор. РАН, председатель Президиума
Ассоциации технологов-машиностроителей России;
А. Г. Суслов, д-р техн. наук, профессор, почетный председатель Президиума
Ассоциации технологов-машиностроителей России;
Д. Ю. Муромцев, д-р техн. наук, профессор,
Тамбовский государственный технический университет;
С. В. Сафонов, д-р техн. наук, доцент,
Воронежский государственный технический университет;
В. П. Смоленцев, д-р техн. наук, профессор,
Воронежский государственный технический университет;
В. Г. Мокрозуб, д-р техн. наук, профессор,
Тамбовский государственный технический университет

И66 **Инновационные** технологии в транспортном и химическом машиностроении [Электронный ресурс] : материалы XII Международной научно-технической конференции Ассоциации технологов-машиностроителей / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 6,56 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2269-1

Опубликованы материалы докладов Международной научно-технической конференции, которая посвящена научным исследованиям по актуальным вопросам в области формирования эксплуатационных свойств транспортной техники и оборудования за счет инновационных технологических решений, применяемых в современном транспортном и химическом машиностроении.

Сборник предназначен для научных, инженерно-технических работников, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Все научные работы, представленные на конференции, прошли двойное рецензирование программным комитетом и редакционной коллегией.

УДК 62
ББК 34.5

Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2269-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2020

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Суслов А. Г. – председатель программного комитета, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный председатель Президиума Ассоциации технологов-машиностроителей, г. Москва, Россия

Безъязычный В. Ф. – д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой технологии авиационных двигателей и общего машиностроения Рыбинского государственного авиационного технического университета им. А. П. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Базров Б. М. – д-р техн. наук, профессор, Лауреат Ленинской премии, заведующий лабораторией теории модульной технологии Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия

Васильев А. С. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия

Глазунов В. А. – д-р техн. наук, профессор, директор Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия

Марков А. М. – д-р техн. наук, профессор, ректор Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Михайлов А. Н. – д-р техн. наук, профессор, председатель совета Международного союза машиностроителей, г. Донецк, Украина

Сердюк А. И. – директор Аэрокосмического института ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», д-р техн. наук, профессор, г. Оренбург, Россия

Смоленцев В. П. – д-р техн. наук, профессор Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Россия

Федонин О. Н. – д-р техн. наук, профессор, ректор Брянского государственного технического университета, г. Брянск, Россия

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Краснянский М. Н. – председатель оргкомитета, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ), д-р техн. наук, профессор, профессор РАН

Приходько В. М. – Сопредседатель оргкомитета, Советник ректора ФГБОУ ВО «МАДИ», Председатель Президиума Ассоциации технологов-машиностроителей, чл.-корр. РАН

Каляев И. А. – заместитель председателя оргкомитета, академик РАН, научный руководитель инженерного направления Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия

Попов Г. – заместитель председателя оргкомитета, д-р техн. наук, профессор, президент Научно-технического союза машиностроителей Болгарии, г. София, Болгария

Муромцев Д. Ю. – заместитель председателя оргкомитета, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук, профессор

Мокрозуб В. Г. – заместитель председателя оргкомитета, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук, профессор

Дивин А. Г. – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Мехатроника и технологические измерения» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Карелина М. Ю. – д-р техн. наук, д-р пед. наук, профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВО «МАДИ», г. Москва, Россия

Петрова Л. Г. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «МАДИ»

Петрешин Д. И. – д-р техн. наук, профессор, директор Учебно-научного технологического института Брянского государственного технического университета, г. Брянск, Россия

Позднеев Б. М. – д-р техн. наук, профессор, председатель Правления Ассоциации «Цифровые инновации в машиностроении»

Полушкин Д. Л. – канд. техн. наук, доцент, директор Технологического института ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Романов А. Н. – д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия

Сафонов С. В. – д-р техн. наук, доцент, первый проректор Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Россия

Ситников А. А. – д-р техн. наук, профессор, директор инновационно-технологического центра Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Соколов М. В. – д-р техн. наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ» (секретарь)

Ткачев А. Г. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Фатюхин Д. С. – д-р техн. наук, профессор, исполнительный директор Ассоциации технологов-машиностроителей, г. Москва, Россия

СЕКРЕТАРИАТ КОНФЕРЕНЦИИ

Кшенникова Татьяна Михайловна – ведущий инженер кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Румянцева Елена Евгеньевна – ведущий инженер кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «ТГТУ»

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. *Ахмадиев Г. М.* Методологические и технологические принципы получения топливных брикетов 8
2. *Петрова Л. Г., Коленко Н. В.* Перспективные материалы для деталей транспортной техники, работающей в условиях отрицательных температур 11

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. *Бобылев В. Ю., Соколов М. В.* Метод повышения качества заготовок из листового металла при холодной штамповке 16

ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1. *Ингеманссон А. Р.* Научные основы создания цифровых производственных систем в механообрабатывающем производстве 21
2. *Бутенко В. И.* Инновационные технологии восстановления деталей машин 28
3. *Кречетов А. А., Блюменштейн В. Ю., Законнова Л. И.*, Механизмы наследования в живой и неживой природе 32
4. *Чигиринский Ю. Л., Чигиринская Н. В.* Анализ методов статистического моделирования в теории резания 39

ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ, НАПЫЛЕНИЯ И НАПЛАВКИ

1. *Кадырметов А. М., Симонова Ю. Э., Плахотин А. А., Снятков Е. В.* Управление эффективностью газодинамических процессов газопламенного напыления 45
2. *Карелина М. Ю., Нигметзянов Р. И., Сундуков С. К., Фатюхин Д. С.* Сварка в условиях наложения ультразвуковых колебаний 57

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1. *Ахмадиев Г. М.* Аддитивное изготовление деталей методом прямого осаждения материала на основе электромагнитного поля 60
2. *Воронов В. А., Семенов А. Н.* Оценка целесообразности использования аддитивных технологий для изготовления деталей ГТД 64
3. *Чижик С.А., Хейфец М. Л., Грецкий Н. Л.* Проектирование технологического оборудования, использующего концентрированные и распределенные потоки энергии 69

ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРО-ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

1. *Юхневич С. С., Кириллов О. Н., Смоленцев В. П., Котуков Е. В.* Оборудование и средства технологического оснащения для прессования и комбинированной обработки изделий из порошковых материалов 75
2. *Богатов Н. М., Григорьян Л. Р., Коваленко М. С., Нестеренко И. И.* Протонная обработка поверхности полупроводниковых структур 81

3. Дьяков И. А. Структурирование углеродными нанотрубками хромовых электрохимических покрытий	85
4. Карелина М. Ю., Нигметзянов Р. И., Сундуков С. К., Фатюхин Д. С. Особенности сборки и разборки резьбовых соединений с применением ультразвука	88
5. Норман А. В., Норман А. В., Перова А. В. Технология комбинированного нанесения чугунного покрытия на легкоплавкие сплавы	91
6. Салтанаева Е. А., Приходько В. М., Сафонов С. В. Ультразвуковая интенсификация комбинированной прошивки глубоких отверстий	97
7. Ахмадиев Г. М. Научные основы и принципы химико-термической обработки деталей из металлов и сплавов	104
8. Ахмадиев Г. М. Технологические основы и принципы получения гальванопокрытий на магнетите	107
9. Иванов В. В., Попов С. И., Донцов Н. С. Классификация вибрационных механохимических процессов формирования покрытий	111
10. Зубарев Ю. М., Афанасенков М. А. Подбор модифицирующих элементов для обеспечения формирования заданных свойств функциональных поверхностных слоев металлообрабатывающих инструментов	116
11. Карелина М. Ю., Кудряшов Б. А., Нечай А. А., Левушкина Н. В., Сухов А. В. Перспективы применения моющих средств, обработанных ультразвуком, в машиностроении	121
12. Приходько В. М., Дьедоне Э., Симонов Д. С. Повышение эффективности технологических процессов жизненного цикла поверхностно-модифицированных изделий транспортной техники	124

ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

1. Фам С. Б., Курсин О. А., Чигиринский Ю. Л. Комбинированная абразивно-упрочняющая обработка сталей повышенной пластичности	130
2. Юрьев В. Г., Зубарев Ю. М. О скоростном суперфинишировании керамики	135
3. Макаров В. Ф., Никитин С. П., Песин М. В. Особенности метода прямой аналогии для описания термомеханических процессов в зоне обработки элементарных поверхностей при профильном глубинном шлифовании лопаток газотурбинных двигателей	140

АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТРАНСПОРТНОМ И ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

1. Носенко В. А., Силаев А. А., Гредников С. Б. Функциональная модель системы автоматической идентификации и прослеживаемости резинотехнической промышленности	144
2. Николюкин М. С., Обухов А. Д., Соколинская О. А. Автоматизация процесса проектирования информационных систем в отрасли машиностроения	150
3. Карпушкин С. В., Чичканов Н. В. Расчет температурных полей индукционных нагревателей на стадии автоматического регулирования	154
4. Карпушкин С. В., Кардакова Ю. А. Интегральный подход к проектированию нагревательных плит вулканизационных прессов	160

5. Карпушкин С. В., Инина Е. А. Управление температурой нагревательных плит вулканизационных прессов при обработке резинотехнических изделий	166
6. Карпушкин С. В., Кузьмина М. Н. Задача определения параметров систем нагрева гидравлических прессов и ее декомпозиция	172
7. Немтинов В. А., Сутормин А. И., Немтинова Ю. В. Система поддержки принятия решений при технологическом обслуживании и ремонте долбежных, строгальных и протяжных станков	177
8. Вишников Ф. И., Рачкова С. А., Калистратов М. С. IDEF0-диаграмма проектирования теплообменных аппаратов	180
9. Уварова Е. В., Рачкова С. А., Вишников Ф. И. Информационная система видов сварных соединений	182
10. Жирякова И. Г., Калистратов М. С., Вишников Ф. И. Функциональная модель процесса планирования выпуска готовой продукции	184

ИНЖЕНЕРНАЯ ПЕДАГОГИКА В ПОДГОТОВКЕ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

1. Соловьев А. Н., Приходько В. М., Петрова Л. Г., Макаренко Е. И. Подготовка преподавателей технических дисциплин к получению звания «международный инженер-педагог» (ing-raed igip) на современном этапе	186
2. Дреер Р., Кондратьев В. В., Казакова У. А., Кузнецова М. Н. Концепция инженерного образования для устойчивого развития общества	191
3. Галиханов М. Ф., Овсиенко Л. В., Куликова Д. И., Зимина И. В., Гужова А. А. Профессиональный рост педагогов системы общего и профессионального образования в университетском комплексе: конвергентная образовательная среда	196
4. Барабанова С. В., Богатова Л. М., Крайсман Н. В., Токар В. М. Развитие управленческих навыков у студентов инженерного вуза в условиях современных промышленных революций	199
5. Шагеева Ф. Т., Крайсман Н. В. Развитие в исследовательском университете способности к профессиональному общению у будущих инженеров	204
6. Ахмадиев Г. М. Рубежи и перспективы электронного образования и науки в России	211
7. Чигиринская Н. В. Проблема сопряжения требований профессиональных стандартов и ФГОС в инженерном образовании	216
8. Газизова Н. Н., Еникеева С. Р., Никонова Н. Н. Математическая подготовка бакалавров технологического университета	221
9. Зубарев Ю. М., Шведова Н. В. Особенности инновационного развития технологического образования и проблем подготовки кадров для транспортного машиностроения	225
10. Мокрозуб В. Г., Рачкова С. А., Меркушева К. А., Вишников Ф. И. Виртуальная мобильность студентов	228
11. Мокрозуб В. Г., Калистратов М. С., Рачкова С. А., Вишников Ф. И., Жуков П. Н. Виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» для обучения студентов по программе «Технология машиностроения»	230

УДК 621

Г. М. Ахмадиев

(Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, Набережные Челны, Россия,
e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Аннотация. Предлагаемая научная работа относится к области машиностроения и может найти широкое применение при производстве топливных брикетов. В работе рассматриваются методология и технология получения топливных брикетов. Основой научной работы является получение технического результата, которая направлена на обеспечение возможности использования в качестве исходного сырья лесосечных отходов, измельченной древесины с высоким содержанием коры и(или) древесной зелени. Полученные результаты могут найти широкое применение при производстве топливных брикетов как для бытового, так и промышленного использования, в которых в качестве основного технологического компонента используются отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: производство, топливные брикеты, отходы, лесная и деревообрабатывающая промышленность.

G. M. Akhmadiev

(Naberezhnye Chelny Institute (branch) K (P) FU, Naberezhnye Chelny, Russia)

METHODOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF OBTAINING FUEL BRIQUETTES

Abstract. The proposed scientific work relates to the field of mechanical engineering and can be widely used in the production of fuel briquettes. The paper discusses the methodology and technology for producing fuel briquettes. The basis of the scientific work is to obtain a technical result, which is aimed at ensuring the possibility of using logging waste, shredded wood with a high content of bark and / or woody greenery as feedstock. The results can be widely used in the production of fuel briquettes, both for domestic and industrial use, in which waste from the forest and woodworking industries are used as the main technological component.

Keywords: production, fuel briquettes, waste, forestry and woodworking industry.

Введение. В настоящее время все еще остается не решенной проблемой изыскание и разработка доступных методологических и технологических основ и принципов получения и применения топливных брикетов в качестве основного технологического компонента для использования отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Известен способ изготовления растопочного средства, включающий нагрев горючего связующего вещества, добавление в разогретое вещество опилок, перемешивание смеси, наполнение форм перемешанной смесью, установка фитилей, охлаждение перемешанной смеси в формах, удаление полученных тел из форм, нанесение покрытия из бумаги на боковые поверхности тел [1].

Недостатком существующего способа является то, что парафин в жидкой форме представляет собой пожароопасное вещество для окружающей среды [4]. Поэтому описанный выше способ потребует обеспечения чрезвычайно высокой техносферной и пожарной безопасности при производстве. Кроме того, необходимость охлаждения смеси приводит к увеличению затрат времени на производство растопочных средств, что в свою очередь снижает целенаправленную производительность.

Известен способ производства искусственных каминных бревен, включающий стадию смешивания обрезков травы, листьев с древесной щепой и опилок для образования смеси, добавление к смеси жидкого связующего, прессование в пресс-форме смеси и удаление затвердевшей смеси из пресс-формы [2].

Однако и настоящий способ также имеет существенный недостаток, так как парафин в жидкой форме представляет собой пожароопасное вещество [4]. Поэтому известный способ потребует обеспечения высокой пожарной безопасности при производстве. Кроме того, необходимость поддержания парафина в жидкой форме потребует дополнительных энергетических затрат на осуществление технического решения.

Известен способ получения брикетов, включающий загрузку исходного сырья в бункер с дозатором, продвижение сырья по длине внутреннего канала шнекового пресса вращающимся подающим шнеком, уплотнение и нагрев перерабатываемой массы прессующим шнеком на коническом участке канала через формующую матрицу в брикет с цилиндрическим отверстием вдоль его оси [3].

Недостатком данного способа является невозможность использовать для производства брикетов древесной зелени, а также лесосечных отходов и отходов деревообработки, содержащих значительные примеси коры. Это обуславливается тем, что для получения топливных брикетов, обладающих необходимой прочностью и водостойкостью, требуется сырье с влажностью обычно в пределах 5...12%. В противном случае процесс производства топливных брикетов с помощью шнекового пресса затруднен (или падает производительность процесса и(или) ухудшаются качества брикета). В промышленных условиях для обеспечения необходимой влажности в составе смеси сырья должны присутствовать древесная зелень, кора и древесина, при такой технологии сложно обеспечить требуемые условия. Кроме того, такая сырьевая смесь имеет разнообразный фракционный состав. Все это на практике делает сложным получение топливного брикета без связующего вещества.

Целью настоящей работы является изыскание и разработка доступных методологических и технологических основ и принципов получения и применения топливных брикетов в качестве основного технологического компонента для использования отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Для достижения технического результата необходимо обеспечение возможности использования в качестве исходного сырья лесосечных отходов, измельченной древесины с высоким содержанием коры и(или) древесной зелени. Кроме того, дополнительный технический результат заключается в уменьшении габаритных размеров устройства, обеспечивающего получение топливных брикетов.

Достигается технический результат за счет того, что в канал шнекового пресса подают связующее вещество в гранулированном виде и перемешивают его с исходным сырьем до уплотнения и нагрева с помощью вращающегося шнека, снабженного участком с витками, имеющими окна, причем подачу связующего вещества в канал шнекового пресса осуществляют одновременно в двух местах, при этом первое место подачи располагают перед местом загрузки в канал шнекового пресса исходного сырья, а второе – после.

В качестве связующего вещества может выступать, например, парафин в гранулированном виде. Размер и масса гранул связующего вещества подбирается в зависимости от размеров частиц измельченного исходного сырья.

Заключение и выводы. Разработка доступных методологических и технологических основ и принципов для получения и применения топливных брикетов в качестве основного технологического компонента для использования отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности происходит благодаря подаче связующего вещества в гранулированном виде одновременно в двух местах в канал шнекового пресса. Определяющим моментом в данном техническом решении является использование участка шнека с витками, имеющими окна, достигается лучшее перемешивание смеси (равномерное распределение гранул связующего вещества в толще массы). Кроме того, использование участка шнека с витками, имеющими окна, позволяет интенсифицировать процесс перемешивания исходного сырья и гранулированного связующего вещества в сравнении с перемешиванием шнека с витками без окон. Интенсификация перемешивания позволяет сократить длину шнека без потери качества перемешивания. Это в свою очередь позволяет уменьшить габаритные размеры шнекового пресса.

Список использованных источников

1. Пат. на изобретение № RU 2522235. Растопочное средство ; заявл. 09.01.2013.
2. Пат. на изобретение № US 5393310. Artificial fireplace log and method for the same ; заявл. 23.03.1994.
3. Пат. на изобретение № RU 2369633. Способ получения брикетов ; заявл. 10.10.2008.
4. Пожаровзрывоопасность химических веществ и материалов и средства их тушения [Текст] : справочник / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко и др. – М. : Химия. 1990. – 384 с.
5. Пат. на изобретение № RU 2710018. Способ получения топливных брикетов ; опубл. 24.12.2019, Бюл. № 36.

Л. Г. Петрова, Н. В. Коленко

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, e-mail: petrova_madi@mail.ru)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ, РАБОТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация. Статья посвящена актуальной теме разработки материалов в транспортной технике для эксплуатации при отрицательных температурах, что отражает насущную проблему повышения надежности и долговечности изделий, работающих в сложных климатических условиях, в том числе в условиях Арктики.

Ключевые слова: хладостойкость, хладостойкие материалы, никелевые стали, аустенитные стали, легирование.

I. G. Petrova, N. V. Kolenko

(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia)

PROSPECTIVE MATERIALS FOR PARTS OF TRANSPORTATION EQUIPMENT WORKING IN CONDITIONS OF NEGATIVE TEMPERATURES

Abstract. The article is devoted to the actual topic of developing materials in transport equipment for operation at subzero temperatures, which reflects the urgent problem of increasing the reliability and durability of products operating in difficult climatic conditions, including in the Arctic.

Keywords: cold resistance, cold-resistant steels, nickel steels, austenitic steels, alloying.

Введение. В последние годы в отраслях народного хозяйства отмечается активное развитие криогенной техники и технологий, что предполагает разработку хладостойких материалов. Российская Федерация охватывает четыре климатических пояса, включая арктический, поэтому является актуальным внедрение материалов, пригодных для работы при низких температурах, в том числе сталей и сплавов.

Понижение температуры эксплуатации сопровождается изменениями свойств материалов: увеличением статической и циклической прочности, снижением пластичности и вязкости, повышением склонности к хрупкому разрушению. Хладостойкие материалы должны сочетать в себе две противоречивые особенности: достаточную прочность и пластичность, которые исключают риск хрупкого разрушения. Отсутствие хладноломкости материала является главным требованием для работы в условиях отрицательных температур. В данной работе обсуждаются подходы к созданию хладостойких сталей на основе обеспечения требований к их химическому составу и структуре.

Характеристики хладостойких материалов. Хладноломкость, т.е. резкое падение ударной вязкости при отрицательных температурах, характерна для металлов и сплавов

с ОЦК-решеткой. Металлы и сплавы с ГЦК-решеткой не имеют порога хладноломкости; при охлаждении ударная вязкость у них уменьшается монотонно, а хладостойкость оценивается температурой, при которой ударная вязкость составляет не менее 0,3 МДж/м² ($t_{\text{КСИ}} = 0,3$) [1].

При низких температурах может происходить хрупкое разрушение стальных деталей при напряжениях ниже предела текучести, вызванное наличием трещин. Сопротивление хрупкому разрушению материала с трещинами характеризует трещиностойкость.

Для комплексной оценки конструкционной прочности материалов, работающих при отрицательных температурах, целесообразно использовать следующие характеристики:

- *предел текучести* $\sigma_T/\sigma_{0,2}$ и твердость HV как характеристики упрочнения;
- *ударная вязкость* KCU/KCV – характеристика сопротивления хрупкому разрушению;
- *трещиностойкость* K_{1c} – характеристика сопротивления развитию трещины;
- *предел выносливости* σ_R/σ_{-1} – характеристика усталостной прочности;
- *порог хладноломкости* T_{50} – характеристика сопротивления разрушению при отрицательных температурах.

В условиях циклических перепадов температур важными свойствами материала являются тепловое расширение, теплопроводность, теплоемкость. Чем меньше тепловое расширение, тем ниже термические напряжения в деталях при термоциклировании.

Как следует из дислокационной теории, сопротивление пластической деформации, выражающееся пределом текучести, тем выше, чем меньше подвижность дислокаций. С увеличением числа структурных барьеров на пути дислокаций предел текучести возрастает, а трещиностойкость, характеризующая вязкость разрушения, уменьшается. К числу структурных барьеров относятся элементы структуры различного порядка, которые вносят различный вклад в суммарный предел текучести:

$$\Delta\sigma_T = \sum_{i=1}^n \Delta\sigma_i,$$

где $\Delta\sigma_i$ – возможные компоненты упрочнения: упрочнение твердого раствора атомами легирующего элемента ($\Delta\sigma_{\text{т.р}}$), упрочнение дислокациями ($\Delta\sigma_{\text{д}}$), упрочнение границами зерен ($\Delta\sigma_{\text{з}}$), упрочнение элементами субструктуры ($\Delta\sigma_{\text{с}}$), упрочнение дисперсными частицами ($\Delta\sigma_{\text{д.ч}}$), упрочнение при образовании пластинчатого перлита ($\Delta\sigma_{\text{п}}$).

Практически все компоненты упрочнения оказывают негативное воздействие на трещиностойкость и порог хладноломкости, но в разной степени (рис. 1). Единственным механизмом упрочнения, который наряду с приростом предела текучести приводит к снижению T_{50} , является механизм зернограницного упрочнения.

Закономерности влияния растворенных атомов на хладноломкость сводятся к следующему: элементы замещения, обеспечивающие значительное упрочнение, увеличивают температуру перехода в хрупкое состояние. Так, каждая 0,1% Si, Mn, Co, Al в феррите

легированных сталей в среднем на 5 °С повышает порог хладноломкости. Эффект отрицательного влияния примесей внедрения, в частности углерода и азота, выражен более сильно, чем для элементов замещения: каждая 0,1% С повышает порог хладноломкости на 20...60 °С и снижает КСТ на 10...20 Дж/см².

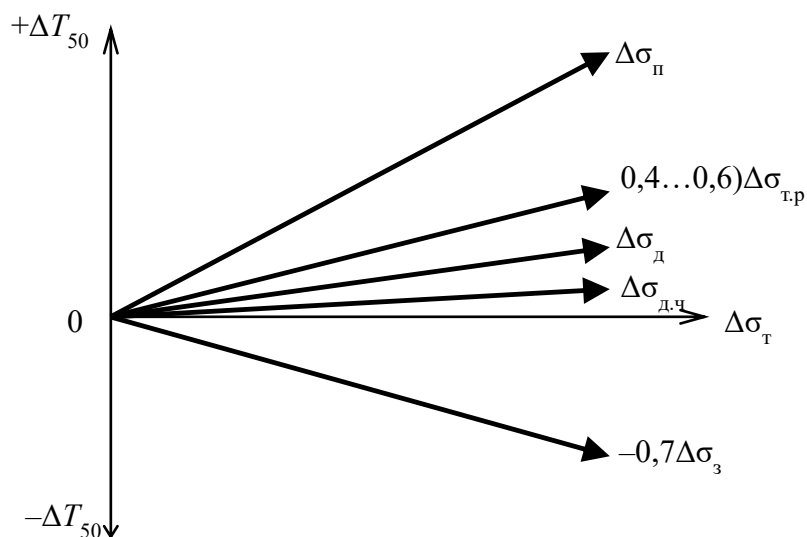


Рис. 1. Влияние структурных факторов упрочнения на порог хладноломкости [2]

На сопротивление разрушению оказывает существенное влияние металлургическое качество стали. Так, повышение чистоты стали по содержанию серы и фосфора, примесям цветных металлов, снижение их сегрегаций по границам зерен повышает сопротивление хрупкому, вязкому и усталостному разрушению. Снижение содержания фосфора на 0,01% снижает порог хладноломкости T_{50} на 20 °С и повышает ударную вязкость КСТ на 10 Дж/см². Сурьма и олово, ослабляя границы зерен, повышают склонность стали к хрупкому разрушению – каждая 0,01% повышает порог хладноломкости на 18 °С.

Принципы легирования хладостойких материалов. Никель является уникальным легирующим элементом в стали, повышающим ударную вязкость: каждая 0,1% Ni снижает порог хладноломкости T_{50} на 4...10 °С. Проведенный анализ показывает, что одним из основных факторов успешной разработки хладостойких материалов является оптимизация химического состава в направлении снижения содержания углерода в сталях и контролируемого содержания никеля (табл. 1).

1. Предельные рабочие температуры хладостойких сталей

Сталь	09Г2С	06Г2АЮ	06Г2НАБ	06НЗ	06Н6	06Н9	03Х13АГ19	12Х18Н10Т
$t_{lim}, °C$	-60	-80	-100	-100	-160	-196	-196	-269

Растворенные элементы могут оказывать косвенное влияние на показатель хладноломкости сталей, например посредством изменения соотношения структурных составляющих, измельчения зерна, дисперсионного твердения. Так, карбидо/нитридообразующие элементы до определенной концентрации (1,0...1,5% Cr, 0,4...0,5% Mo, <0,05% Ti, 0,02...0,04% Nb, <0,1% V) увеличивают сопротивление стали хрупкому разрушению, но при большем содержании повышают порог хладноломкости. Присутствие нитридных фаз в стали снижает критическую температуру хрупкости: VN – на 30...40 °С, CrN – на 40 °С, NbN – на 40...50 °С. Наиболее существенно (на 90...100 °С) снижается порог хладноломкости при комплексном легировании Al, V и Cr.

В условиях климатического холода, а также криогенных температур наиболее эффективны аустенитные стали: хромоникелевые (12X18H10T, 08X18H10T), хромомарганцевые (10X14Г14Н4Т, 03X13АГ19), а также более сложнолегированные (07X21Г7АН5, 03X20Н16АГ6) и дисперсионно-твердеющие (10X11Н23ТЗМР, 10X11Н20ТЗР) (табл. 1).

В последние годы созданы новые высокопрочные листовые стали для арктических условий (F500Arc40, F620Arc40 и F690Arc40) с пониженным уровнем легирования и гарантированным сопротивлением хрупким, слоистым и коррозионно-механическим разрушениям при низких температурах [3].

Проводятся исследования по оптимизации аустенитных азотосодержащих сталей для криогенного использования [4, 5]. Разрабатываются специальные низкоуглеродистые легированные криогенные стали, подвергаемые химико-термической обработке (05X11Н2К3М2АФ, 03X11Н10М2Т, 03X12Н10МТ). Так, сталь 03X11Н10М2Т в азотированном состоянии имеет значения ударной вязкости 8 кДж/м² при –70 °С и 3,8 кДж/м² – при –196 °С [6].

Заключение. Повышение хладостойкости сталей достигается повышением металлургического качества: степени чистоты стали от вредных примесей (серы, фосфора), газов и неметаллических включений, снижением сегрегаций, глобуляризацией сульфидных включений. Является эффективным микролегирование сталей ванадием, ниобием и(или) титаном в целях связывания углерода в мелкодисперсные карбиды. Значимым фактором повышения хладостойкости является структурное состояние стали. Управление структурой производится в направлении измельчения зерна, увеличения дисперсности структурных составляющих и обеспечения их морфологического подобия. Это достигается технологиями прокатки, методами термической и термомеханической обработки, модифицирования. Перспективы разработки хладостойких металлических материалов открываются при использовании нанотехнологий, например процессов лазерного прототипирования готовых деталей, процессов их механосинтеза из порошковых частиц различных материалов. Важным направлением является нанесение специальных покрытий (коррозионно-стойких, износостойких, градиентных с переменными свойствами, каталитически активных и др.).

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту № FFSM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Список использованных источников

1. Солнцев, Ю. П. Хладостойкие стали и сплавы : учебник для вузов / Ю. П. Солнцев. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. – 480 с.
2. Приходько, В. М. Metallofizicheskie osnovy razrabotki uprochnyayushchikh tekhnologiy / В. М. Приходько, Л. Г. Петрова, О. В. Чудина. – М. : Машиностроение, 2003. – 384 с.
3. Экономнолегированные стали с наномодифицированной структурой для эксплуатации в экстремальных условиях / И. В. Горынин, В. В. Рыбин, В. А. Малышевский и др. // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 2(54).
4. Research on Fracture Behavior of High Nitrogen Austenitic Stainless Steels at Cryogenic Temperature/ LI Hua-bing, JIANG Zhou-hua, ZHANG Zu-mi, XU Bao-yu // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2007. – V. 14, No. 5. – P. 325 – 329.
5. Влияние легирования азотом на упрочнение и стабильность аустенита стали типа X18N10 / Л. М. Капуткина, М. Г. Медведев, В. Г. Прокошкина и др. // Известия высших учебных заведений. Черная Metallurgiya. – 2014. – Т. 57, № 7.
6. Стали для зубчатых передач и деталей топливной аппаратуры, упрочняемых химико-термической обработкой / Г. П. Алексеева, И. П. Банас, В. И. Белякова и др. // Aviaatsionnaya promyshlennost. – 1982. – № 8. – С. 31–32.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.98.073

В. Ю. Бобылев, М. В. Соколов

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: vlad.bobylev.97@mail.ru, msok68@mail.ru)

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ПРИ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКЕ

Аннотация. Рассмотрен один из методов повышения качества заготовок и деталей, изготавливаемых методом листовой штамповки. Этим методом является ужесточение допусков на рабочие части оснастки, используемой при холодной штамповке.

Ключевые слова: качество, листовая штамповка, оснастка, штампы, точность.

V. Yu. Bobylev, M. V. Sokolov

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

METHOD FOR IMPROVING THE QUALITY OF SHEET METAL WORKPIECES DURING COLD FORMING

Abstract. The article discusses one of the methods for improving the quality of blanks and parts produced by sheet stamping. This method is to tighten the tolerances on the working parts of the tooling used in cold forming.

Keywords: quality, sheet stamping, tooling, dies, precision.

Точность получения заготовок из листа методом штамповки имеет исключительное значение. При низкой точности заготовки в дальнейшем будет необходима в большой или меньшей степени обработка резанием. Все это скажется на трудоемкости, она увеличивается во много раз, также значительно обесценивается экономичность листовой штамповки.

Повышение точности позволяет полностью снять необходимость обработки резанием и перевести листоштамповочную продукцию из категории заготовок в категорию деталей, которые будут годны для сборки готовых изделий без каких-либо доработок.

В качестве инструмента при листовой штамповке используют штампы, которые состоят из блоков деталей, а рабочими инструментами являются матрица и пуансон. Указанные особенности обязательно учитывают при разработке технологического процесса штамповки и конструировании штампов, которые по технологическому признаку различают на штампы простого (рис. 1), последовательного и параллельного (совмещенного) (рис. 2) действия [1].

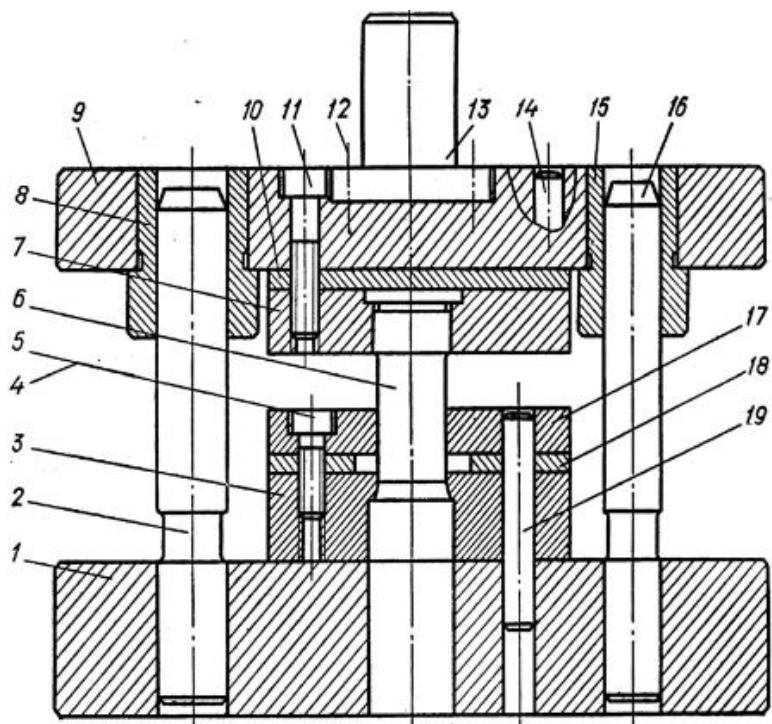


Рис. 1. Общий вид вырубного штампа:

1 – нижняя плита; 2, 16 – направляющие колонки; 3 – вырубная матрица;
 4, 5, 11, 12 – крепежные винты; 6 – вырубной пуансон; 7 – пуансонодержатель;
 8, 15 – направляющие втулки; 9 – верхняя плита; 10 – упорная плита; 13 – хвостовик;
 14, 19 – штифты; 17 – съемник; 18 – упор

Точность получения заготовок из листа методом штамповки зависит от множества факторов:

- 1) способ штамповки;
- 2) размер заготовки и ее конструкция;
- 3) конструкция, точность размеров и стойкость штампа;
- 4) механические свойства материала;
- 5) раскрой штампуемого материала;
- 6) оборудование.

Условия достижения точности холодноштампованных заготовок и готовых деталей резко отличается от других способов обработки металлов. Это объясняется тем, что при изготовлении заготовок или деталей методом холодной штамповки возможности изменения толщины материала, особенно в сторону увеличения, весьма ограничены. При холодной штамповке увеличение жесткости заготовок может быть достигнуто профилированием соответствующих сечений и приданием заготовке или детали бортов и ребер жесткости.

Учитывая все особенности холодной штамповки, можно прийти к выводу, что точность получаемых заготовок и деталей может быть достигнута не только за счет соблюдения точности размеров, но и за счет точности формы. В отличие от отклонений в размерах, отклонения от конструктивных форм приводят к затруднению взаимозаменяемости деталей.

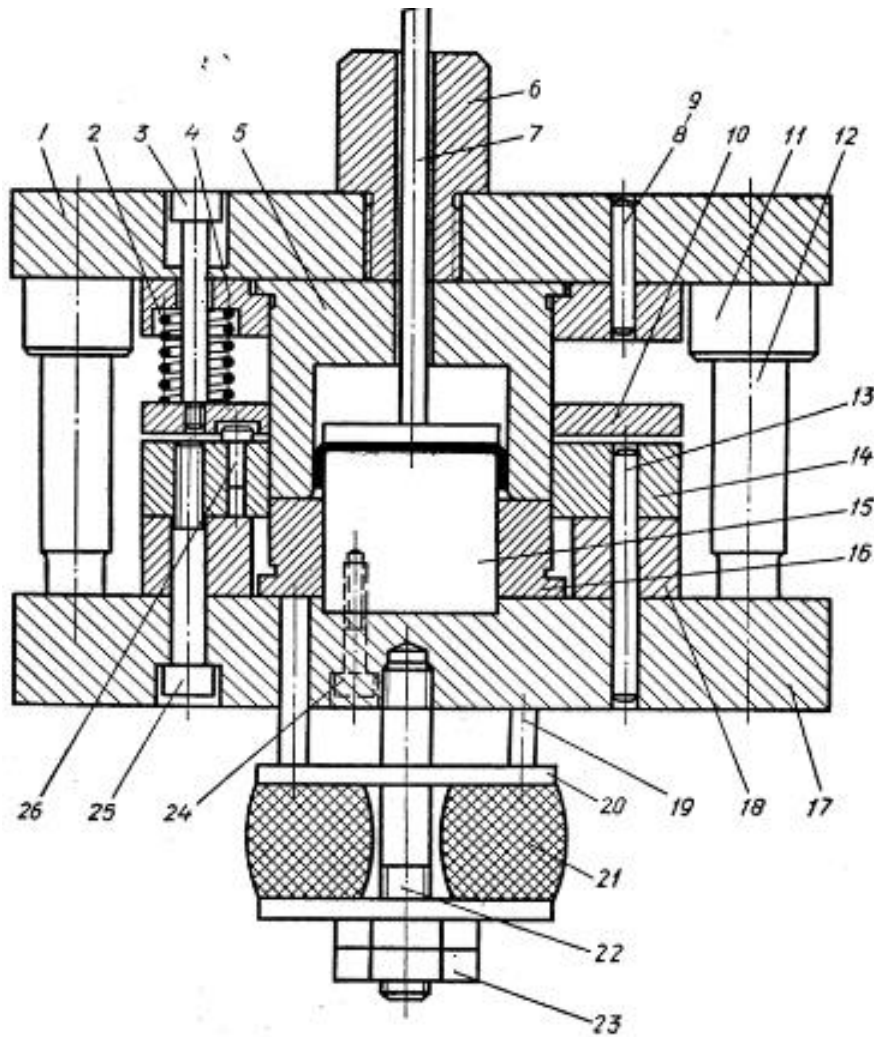


Рис. 2. Общий вид гибочного штампа:

1 – верхняя плита штампа; 2 – пружины съемника; 3, 24, 26 – винты; 4 – пуансонодержатель; 5 – пуансон-матрица; 6 – хвостовик; 7 – верхний выталкиватель; 8, 9, 13 – штифты и винты; 10 – съемник; 11 – направляющие втулки; 12 – направляющие колонки; 14 – вырубная матрица; 15 – вытяжной пуансон; 16 – выталкиватель; 17 – нижняя плита штампа; 18, 20 – прокладки; 19 – толкатели; 21 – упругий элемент; 22 – шпилька; 23 – гайка; 26 – упор

Кроме того, сохранение конструктивных форм для тонкостенных заготовок представляет очень серьезную технологическую задачу, чем соблюдение допусков на размеры. Все это объясняет то, что технология на изготовление холодноштампуемых заготовок и деталей предусматривает широкие допуски на их линейные размеры и очень жесткие пространственные допуски.

Обеспечение точности конструктивных форм тонкостенных холодноштампованных заготовок и деталей может быть достигнуто с помощью:

- 1) равномерного распределения усилий по сечению деталей во время вырубки;
- 2) усиления жесткости ребрами;
- 3) придания коробчатой формы;
- 4) разгрузки от изгибающих усилий.

Другими факторами, влияющими на требуемую точность изготовления заготовок и деталей из листового металла с помощью штамповки, являются:

- 1) качество материала;
- 2) упругие деформации материала;
- 3) габариты необходимой заготовки или детали;
- 4) толщина материала;
- 5) тип штампа;
- 6) неполадки и неточность работы штампа;
- 7) неточность рабочих частей штампа;
- 8) износ рабочих частей штампа;
- 9) неправильное позиционирование заготовки в штампе;
- 10) неточность установки упоров и зажимов в штампе.

Все факторы можно разделить на две группы: систематические и случайные. К систематическим факторам можно отнести неточность изготовления штампа, к случайным – неточное позиционирование заготовки в штампе (смещение заготовки во время формовки или гибки), неточность его работы (неравномерное распределение усилий во время вырубки), упругие деформации материала (возврат детали в исходное положение после гибки или вытяжки (отпружинивание)).

Влияние факторов первой группы можно убрать путем задания жестких допусков на изготовление штампов. Для плоских деталей и заготовок, которые получают путем резки и вырубки из полос и карт, достигаемая точность определяется точностью изготовления рабочих частей штампа, степенью их износа и возможностью совмещения операций по вырубке контура и отверстий за один ход штампа [2].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что для повышения точности изготавливаемых заготовок и деталей из листа методом штамповки необходимо использование усовершенствованных штампов для изготовления многооперационных заготовок, а также изготовление и обеспечение технологической оснасткой с более жесткими допусками на рабочие части.

В условиях интенсивного перехода на технологический уклад шестого уровня задача повышения качества готовых изделий, сокращение сроков проектирования и подбор оптимальных параметров процесса механической обработки заготовок – это важнейшие требования, предъявляемые к разработке технологического процесса. Разработка и внедрение современных систем автоматизированного проектирования (САПР) [3, 4] позволяет решать эти проблемы в большинстве случаев, когда технолог самостоятельно принимает решение о выборе тех или иных режимов обработки, руководствуясь собственным опытом.

Исследования проводятся в соответствии со следующими направлениями научной деятельности, которые развиваются на кафедре «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»: прогрессивные технологии и оборудование машиностроительного производства; выбор, создание новых и адаптация интеллектуальных обучающих систем

автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки и сборки; разработка методов и способов повышения качества обработки деталей из металлов [5, 6].

Список использованных источников

1. Килов, А. С. Производство заготовок. Листовая штамповка: Серия учебных пособий из шести книг. Книга 2. Получение заготовок из листового материала и гнутые профили / А. С. Килов, К. А. Килов. – Оренбург : ГОУОГУ, 2004. – 182 с.
2. Гокун, В. Б. Технологические основы конструирования в машиностроении / В. Б. Гокун. – 2-е изд., перераб. – М. : Машгиз, 1957. – 693 с.
3. Алтунин, К. А. Разработка информационных и аналитических моделей выбора параметров процесса резания / К. А. Алтунин, М. В. Соколов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн (ВМПД – 2016) : матер. III Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – Вып. 3, Т. 3. – С. 192 – 195.
4. Алтунин, К. А. Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.
5. Алтунин, К. А. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2018 – 213 с.
6. Altunin, K. A. Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – No. 2. – P. 67 – 77.

УДК 621.9

А. Р. Ингеманссон

(АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»,
Волгоград, Россия, e-mail: aleing@ yandex.ru)

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. Обоснован подход по созданию и разработана методология построения наукоемких цифровых производственных систем (ЦПС) в механообрабатывающем производстве. Разработана методология технологической подготовки производства (ТПП) и управления стабильностью и качеством в автоматизированном производстве, а также обосновано повышение технико-экономической эффективности технологических процессов (ТП) механической обработки за счет внедрения ЦПС.

Ключевые слова: цифровые производственные системы, технологическая подготовка производства, адаптивное управление.

A. R. Ingemansson

(JSC “Federal scientific and production center “Titan-Barricady”, Volgograd, Russia)

SCIENTIFIC BASIS OF CREATION OF DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS IN METALWORKING INDUSTRY

Abstract. In the article an approach for creation is justified and the methodology of creation of science-intensive digital production systems (DPS) in metalworking industry is developed. The methodology of technological preparation of production (TPP) and control of stability and quality in automated production is developed, and the increase of technical and economical effectiveness of technological processes (TP) of machining due to the implementation of DPS is justified.

Keywords: digital production systems, technological preparation of production, adaptive control.

Введение. Внедрение цифровых производственных систем (ЦПС) является современным направлением повышения эффективности машиностроительного производства. Разработка научных основ создания ЦПС обеспечивает возможности реализации задач, содержащихся в Указе Президента Российской Федерации от 01.12.2006 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» и Плане мероприятий «Технет» Национальной технологической инициативы до 2035 г., утвержденном Председателем Правительства Российской Федерации на заседании Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному

развитию России от 14 февраля 2017 г. Работы в данном направлении определены в программах развития ведущих научных и промышленных корпораций страны: «Роскосмос», «Росатом», «Ростех», «ОСК» и др.

Цифровые производственные системы в машиностроении – это производственные системы, основанные на интеграции современных информационно-вычислительных технологий, наукоемкого оборудования и машиностроительных технологий [1].

Внедрение ЦПС связано со многими составляющими производственного процесса на машиностроительном предприятии. Особый интерес представляет внедрение ЦПС в целях повышения эффективности применяемых технологических процессов (ТП).

ТП механической обработки резанием зачастую характеризуются основным объемом затрат труда при изготовлении машиностроительной продукции и составляют предмет данного исследования.

Благодаря исследованиям отечественных и зарубежных ученых и инженеров накоплен значительный опыт в области повышения эффективности технологической подготовки и управления процессами резания. Выполненный анализ существующих разработок свидетельствует об актуальности данного исследования и позволяет сформулировать научную проблему, которая состоит в необходимости разработки комплексных и наукоемких решений в области состава, структуры, механизмов функционирования ЦПС в механообрабатывающем производстве. Особо следует выделить изучение технологической подготовки цифровых производств и автоматизированного управления процессом резания в условиях ЦПС.

Постановка задачи. Перед данной работой ставятся задачи по обоснованию подхода по созданию и разработке методологии построения наукоемких ЦПС в механообрабатывающем производстве. Требуется разработать методологию технологической подготовки производства (ТПП) и управления стабильностью и качеством в автоматизированном производстве при внедрении ЦПС. Необходимо обосновать повышение технико-экономической эффективности ТП механической обработки за счет внедрения ЦПС.

Разработка методологии ТПП и управления стабильностью и качеством в автоматизированном производстве при внедрении ЦПС. Решение обозначенной научной проблемы связано со стохастическим характером протекания процесса обработки резанием во времени. Нестабильность процесса резания выражается в колебании температурно-силовых характеристик процессов стружкообразования и контактного взаимодействия и провоцирует непостоянство получаемого качества обработанных поверхностей и работоспособности режущего инструмента.

Адаптивное управление (АУ) позволяет повысить стабильность выходных параметров процесса резания при колебаниях состояния технологической системы. Современное металлорежущее оборудование с ЧПУ позволяет получать данные о текущей потребляемой мощности приводом главного движения или крутящем моменте, осуществлять мониторинг и автоматическое управление на основе данных по нагрузке на привод. Указанные параметры нагрузки непосредственно определяются силой резания. Поэтому

АУ процессом резания для современного автоматизированного оборудования с ЧПУ в целях получения заданных значений выходных параметров обработки целесообразно выполнять по величине силы резания. Подача является целесообразным для выбора управляющим параметром, так как АУ подачей технически осуществимо на современном серийно выпускаемом оборудовании с ЧПУ; среди режимов резания подача имеет наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности и оказывает существенное влияние на стойкость инструмента.

В качестве выходных параметров процесса резания, определяющих эффективность обработки, целесообразно принять шероховатость обработанной поверхности и период работоспособности инструмента. Кроме этого, необходимо учитывать физико-механическое состояние поверхностного слоя деталей, измененное в результате обработки.

Для построения методологии ТПП и управления стабильностью и качеством в автоматизированном производстве при внедрении ЦПС разработаны математические модели влияния режимов и параметров процесса обработки на функциональные и выходные параметры предварительного и чистового точения и фрезерования на станках с ЧПУ.

Разработка моделей выполнялась на основе многоуровневых полных факторных экспериментов.

В качестве характеристик функции отклика при обработке выступают среднее арифметическое отклонение профиля Ra , мкм, средний шаг неровностей профиля S_m , мм, и нагрузка на режущий инструмент, выражаемая через силу резания P_z , Н.

При построении математических моделей использовались типовые представители конструкционных углеродистых и легированных сталей – группа «Р» согласно международному стандарту ISO и коррозионно-стойких сталей – группа «М», как наиболее распространенных в машиностроении. Применялись типовые операции и наиболее универсальные инструменты для обработки на токарных и фрезерных станках с ЧПУ. В качестве аргументов функции отклика рассмотрены: скорость резания, подача, твердость обрабатываемого и теплопроводность инструментальных материалов [2], как факторы, оказывающие значительное влияние на температурно-деформационные характеристики, функциональные и выходные параметры процесса резания.

Диапазоны варьирования факторов скорости резания и подачи для предварительной и чистовой обработки устанавливались согласно принятым методикам назначения режимов резания на основе справочно-нормативной литературы. Обработка выполнялась без СОТС, точение – на токарном ОЦ с ЧПУ мод. SL-40L, фрезерование – на горизонтальном сверлильно-фрезерно-расточном ОЦ с ЧПУ мод. EC-1600 (все «Haas Automation», США).

В результате получены расчетные формулы (математические модели) для определения среднего арифметического отклонения профиля Ra и среднего шага неровностей профиля S_m обработанной поверхности, подачи и силы резания при точении и фрезеровании [3]. Анализ разработанных математических моделей обнаружил закономерности формирования микрогеометрии обработанной поверхности и силы резания, т.е. нагрузки на инструмент, с позиции теории резания и температурно-деформационных закономерностей высокоскоростного пластического деформирования.

После разработки математических моделей были выполнены экспериментальные исследования по АУ процессом резания для обеспечения стабильной работоспособности инструмента на оборудовании с ЧПУ. В качестве критерия износа принят размер h_z площадки (фаски) износа по задней поверхности СМП. Выполнены экспериментальные исследования [4] зависимости изменения величины площадки износа по задней поверхности СМП и силы резания P_z от пути резания. Анализ полученных данных при исследованиях показал, что разработанные математические модели с достаточной степенью точности описывают процесс обработки для использования при ТПП и АУ. АУ по величине силы резания за счет ее вычисленной нормативной величины, занесенной в систему ЧПУ станка, позволяет обеспечивать работу инструмента в стабильных условиях в период нормального изнашивания, нивелируя влияние колебаний припуска и твердости материала заготовки.

Для изучения возможности АУ в ЦПС стабильностью деформированного состояния поверхностного слоя обработанных деталей были проведены исследования по определению поверхностной микротвердости HV, глубины h_n и степени U_n наклепа на деталях, обработанных точением [5, 6], при использовании свежей твердосплавной СМП и изношенной на операции продольного точения. При экспериментах измерялось значение силы резания P_z . Заготовки были порезаны на диски, из которых впоследствии на электроэрозионном проволочно-вырезном станке были изготовлены образцы для металлографических исследований.

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности АУ стабильностью деформированного состояния поверхностного слоя обработанных деталей по величине силы резания. При прочих равных режимах и условиях обработки в экспериментах смоделировано изнашивание инструмента, имеющее место при обработке, наряду с колебаниями припуска и твердости материала заготовки.

Механизм функционирования системы для обеспечения стабильности качества обработки и работоспособности инструментов в ЦПС. Механизм функционирования разработанной системы для обеспечения стабильности заданного качества обработки и работоспособности инструментов в ЦПС для механической обработки следующий.

На этапе ТПП инженер-технолог получает исходные данные для технологического проектирования: комплект конструкторской документации (КД) и технические условия (ТУ) на изготовление детали, данные о программе выпуска и др. Выполняется технологическое проектирование.

При разработке операций предварительной обработки руководствуются рядом критериев, в том числе объемом удаляемого материала в единицу времени. При этом для участков с автоматизированным оборудованием с ЧПУ существенное значение приобретает период работы станка или объем партии обработанных деталей до остановки оборудования для замены изношенных инструментов и переналадки. При обработке стойкость инструмента связана с действующей на него нагрузкой, т.е. силами резания. Поэтому при предварительной обработке в качестве критерия АУ процессом резания

в настоящей работе выступает нагрузка на режущий инструмент, поддержание стабильных значений которой во время обработки обеспечивает надежную работу режущего инструмента.

АУ процессом резания по нагрузке на современном оборудовании с ЧПУ реализуется за счет активного мониторинга соотношения мощности резания к мощности привода главного движения. Диаграммы и числовые характеристики мощности привода главного движения $N_{ст}$, кВт, в зависимости от частоты вращения и диапазона частот вращения указываются в паспортных данных оборудования с ЧПУ. Мощность резания определяется по известной зависимости [1].

Для систем ЧПУ современных ОЦ требуемая или допустимая нагрузка на привод главного движения и, соответственно, на инструмент задается через процентное соотношение мощности резания $N_{рез}$ к мощности привода станка $N_{ст}$. Характеристика нагрузки P для системы ЧПУ определяется следующим образом:

$$P = \frac{N_{рез}}{N_{ст}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Таким образом, инженером-технологом на этапе разработки ТП для предварительных операций определяются режимы резания. Скорость резания назначается исходя из требований по производительности и износостойкости инструментального материала. Коэффициент теплопроводности является присущей характеристикой выбранного инструментального материала. Методика определения данной характеристики для использования при технологическом проектировании предложена в работе [2]. При проектировании ТП принимается номинальное значение твердости. На этапе изготовления партии деталей определяется фактическая твердость материала конкретной детали, полученная в состоянии поставки или после промежуточных термических операций, предусмотренных ТП. На основе разработанных математических зависимостей [3, 4] производится автоматизированный уточненный расчет силы резания Pz для заданных режимов и условий обработки и фактической твердости материала детали. По зависимости (1) инженером-технологом определяется и фиксируется в программном производственно-технологическом комплексе для ЦПС соответствующая характеристика нагрузки P на привод главного движения станка для каждой детали в партии. Из программного производственно-технологического комплекса для ЦПС формируется производственно-технологическая карта, содержащая требуемое значение нагрузки P , которая передается на производственный участок цеха.

На этапе ТПП при разработке ТП механической обработки инженер-технолог получает исходные сведения из КД о требуемом качестве обработанных поверхностей деталей, в частности шероховатости. Осуществляется расчет режимов резания. Аспекты, связанные с расчетом скорости резания, а также с параметрами теплопроводности инструментального и твердости обрабатываемого материалов, описаны выше. Расчету подлежит режимный параметр, оказывающий наиболее существенное влияние на величину

шероховатости обработанной поверхности, – подача. При заданной в КД величине среднего арифметического отклонения профиля Ra или величине среднего шага неровностей профиля S_m выполняется расчет соответствующего значения подачи для операций чистового точения и фрезерования с использованием математического аппарата, изложенного в работах [3, 4]. При необходимости значение подачи при заданном параметре Ra или S_m может быть рассчитано для операций с бóльшим съемом по формулам, приведенным в работах [3, 4]. Кроме этого, может быть решена другая задача. На основе назначенных подачи, скорости резания, установленных теплопроводности инструментального и твердости обрабатываемого материала могут быть рассчитаны величины Ra и S_m по формулам, представленным в работах [3, 4].

После определения требуемой подачи выполняется расчет соответствующей силы резания P_z по формулам, приведенным в работах [3, 4]. Для АУ контролируемая нагрузка P на привод главного движения для каждой детали в партии определяется по зависимости (1).

В программном производственно-технологическом комплексе для ЦПС инженером-технологом фиксируется рассчитанная требуемая величина подачи s_o для точения и s_z , s_o или s_{\min} – для фрезерования, а также требуемое значение нагрузки P на привод главного движения станка для каждой детали в партии. Из программного производственно-технологического комплекса для ЦПС формируется производственно-технологическая карта, содержащая указанные величины, и передается на производственный участок цеха.

Для выполнения операций предварительной обработки разработанная система действует следующим образом. Наладчик или оператор станка с ЧПУ или ОЦ, получив производственно-технологическую карту, заносит в систему ЧПУ станка значение требуемой нагрузки P на привод главного движения для конкретной детали в партии. В процессе операций предварительной обработки имеет место колебание припуска и твердости обрабатываемого материала. Соответственно, изменяется характер стружкообразования и контактного взаимодействия, действующая сила резания и нагрузка на привод главного движения и, соответственно, на инструмент. Система АУ осуществляет автоматическое изменение подачи для приведения действующей нагрузки в соответствие с заданной. Тем самым реализуется постоянство действующей нагрузки на режущий инструмент в процессе операций предварительной обработки. Таким образом, в ЦПС на основе разработанных математических моделей [3, 4] обеспечивается поддержание заданного периода работоспособности инструмента или объема партии обработанных деталей до остановки оборудования для замены изношенных инструментов и переналадки.

Для выполнения операций чистовой обработки порядок функционирования системы следующий. В разработанной ЦПС для механической обработки наладчик или оператор станка с ЧПУ или ОЦ получает производственно-технологическую карту, содержащую требуемые величины подачи и нагрузки на привод главного движения для обеспечения стабильности получаемого качества обработанной поверхности, и заносит их в систему ЧПУ станка для конкретной детали в партии. В процессе чистовой обработки имеет место колебание твердости обрабатываемого материала, а также изнашивание режущего инструмента. АУ выполняется изменением подачи при отклонениях нагрузки на привод.

Таким образом, в ЦПС обеспечивается стабильность получения заданного качества поверхностей обработанных деталей (шероховатости и деформированного состояния поверхностного слоя) за счет АУ процессом резания на основе разработанных математических моделей [3, 4].

Исходя из результатов проведенного анализа с использованием комплексных критериев технологической себестоимости и коэффициента общей эффективности оборудования установлено повышение технико-экономической эффективности ТП механической обработки за счет предложенных мероприятий по внедрению ЦПС.

Заключение. Проведенные исследования позволили предложить решение актуальной научно-технической проблемы и разработать научные основы создания ЦПС в механообрабатывающем производстве. Обоснован подход по созданию и разработана методология построения наукоемких ЦПС в механообрабатывающем производстве. Разработана методология ТПП и АУ стабильностью и качеством в автоматизированном производстве при внедрении ЦПС. Обосновано повышение технико-экономической эффективности ТП механической обработки за счет внедрения ЦПС.

Список использованных источников

1. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Сулова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
2. Ингеманссон, А. Р. Определение теплопроводности твердосплавного режущего инструмента с многослойными износостойкими покрытиями / А. Р. Ингеманссон, А. А. Бондарев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 97 – 105.
3. Ингеманссон, А. Р. Разработка математических моделей для технологической подготовки производства и адаптивного управления токарной и фрезерной обработкой в цифровых производственных системах / А. Р. Ингеманссон // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 27 – 40.
4. Ингеманссон, А. Р. Повышение эффективности обработки резанием за счет адаптивного управления в цифровых производственных системах / А. Р. Ингеманссон // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. – 2020. – № 4. – С. 39 – 48.
5. Сулов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Сулов, А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
6. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А. М. Дальский, Б. М. Базров, А. С. Васильев и др. ; под ред. А. М. Дальского. – М. : МАИ, 2000. – 364 с.

В. И. Бутенко

(Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия,
e-mail: butenkowiktor@yandex.ru)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Аннотация. Приводятся описания эффективных технологий восстановления рабочих поверхностей деталей машин с созданием на них многокомпонентных функциональных слоев.

Ключевые слова: деталь, поверхность, слой, восстановление, контактирование, трибо-система, модифицирование.

V. I. Butenko

(Don State Technical University, Rostov-na-Donu, Russia)

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR RESTORING MACHINE PARTS

Abstract. Descriptions of effective technologies for the restoration machine parts working surfaces with the creation multicomponent functional layers on them are given.

Keywords: part, surface, layer, restoration, contacting, tribosystem, modification.

Современное ремонтное производство ориентируется на достижения машиностроительной отрасли, используя эффективные технологии обработки поверхностей деталей машин и оборудование для их осуществления. Одним из основных условий для использования в ремонтном производстве разработанных в машиностроении технологий является их доступность и малозатратность трудовых и финансовых ресурсов.

Известно, что в процессе эксплуатации в материале поверхностного слоя детали идет накопление напряжений, которые впоследствии становятся причиной их разрушения [1], а в процессе восстановления деталей усложняют обработку поверхности, вызывая повышенный износ инструмента. В целях повышения эффективности чистового точения деталей из железоуглеродистых сплавов разработан метод обработки их с предварительным индукционным нагревом, позволяющим за счет создания в материале поверхностного слоя волнового высокочастотного магнитного поля в 2–3 раза поля стойкость инструмента и улучшить эксплуатационные показатели качества обработанной поверхности [2, 3].

Перспективным направлением повышения эксплуатационных свойств плоских поверхностей восстанавливаемых деталей является их упрочнение, например путем обкатки. В работах [4 – 6] представлены конструкции устройств для восстановления плоских поверхностей деталей, использование которых не только улучшает их эксплуатационные свойства, но и заменяет процесс шлифования, что особенно эффективно при восстановлении направляющих станин, кареток, салазок, ползунов и других подобных деталей.

В качестве финишных операций при восстановлении деталей машин могут быть рекомендованы технологии создания на их рабочих поверхностях модифицированных или многокомпонентных функциональных слоев [7]. При этом многокомпонентные функциональные слои могут быть получены на полимерной основе (полиэтилен, полистирол, капрон), на основе легкоплавких сплавов (сплавы Вуда и Розе) или на смешанной основе с использованием компонентов с функционально заданными свойствами [7–9]. Такие слои рекомендуется создавать на восстанавливаемых поверхностях деталей трибосистем, работающих в агрессивных средах с высокой запыленностью при температурах не выше 80...100 °С. Исследования показали, что создание на рабочих поверхностях деталей трибосистем металлополимерного наноструктурного слоя приводит не только к снижению в 2,5–3,0 раза силы трения в зоне контакта, но и обеспечивает более стабильный характер процесса контактирования материалов, способствуя повышению точности перемещения (позиционирования) сопряженных деталей.

Экспериментальные исследования показали [7–9], что инновационные технологии создания многокомпонентных функциональных слоев на основе легкоплавких сплавов рекомендуется применять в тех случаях, когда эффект достигается за счет:

- нивелирования шероховатости контактных поверхностей деталей и, как следствие, уменьшения времени их приработки;
- создания между контактирующими поверхностями деталей трибосистем разделительного смазочного слоя, работающего только при заданных условиях эксплуатации (в первую очередь, температуры);
- выхода на условия, обеспечивающие проявление эффекта «нанотрибологической ямы» при существенном снижении коэффициента трения в контактной зоне.

С инновационной точки зрения представляет интерес разработка единой технологической операции, совмещающей отделочно-упрочняющую обработку поверхностей деталей с модифицированием материала поверхностного слоя и обеспечивающей снижение интенсивности изнашивания деталей трибосистем, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Для создания такого слоя на восстанавливаемой поверхности детали может быть использована технология, при которой в зону контакта упрочняющего ролика с восстанавливаемой поверхностью детали подается алюминиевая фольга толщиной не более 0,05 мм с нанесенными и закрепленными на ней с помощью клея графитовым порошком и кристаллическим йодом. При этом равномерность распределения графита и кристаллического йода на поверхности фольги обеспечивалась медленным пропуском ее через специальное устройство, наполненное смесью графитового порошка и кристаллического йода определенного состава. Как показали исследования, добавка 5...8% (по объему) кристаллического йода в закрепляемый на фольге графитовый порошок способствует не только снижению коэффициента трения в зоне контакта, но и создает в процессе трения на сопряженной поверхности детали трибосистемы пленку, выполняющую роль твердой смазки, что было подтверждено спектрографическим анализом материала поверхностного слоя деталей контртел из сталей X18H9T и 12X3H, контактируемых с модифицированными поверхностями образцов из стали 45

[7, 8]. Толщина образующейся на восстанавливаемой поверхности детали йодо-графитовой смазочной пленки не превышает 0,1 мкм, а ее создание обеспечивает устойчивое трибозкранирование поверхностных слоев сопряженных деталей [8, 9].

Если температура эксплуатации детали с модифицированным слоем превышает 250 °С, то вместо кристаллического йода, который при такой температуре возгоняется, рекомендуется на фольге закреплять размельченный диодид хрома, который разлагается с выделением йода при температурах выше 500 °С [5]. При этом количество диодида хрома, наносимого на поверхность алюминиевой фольги вместе с графитом, составляет 15...20% (по объему) от графита.

Перспективной технологией создания функциональных слоев с направленной модификацией материала поверхностного слоя деталей трибосистем может стать способ обработки цилиндрических деталей, включающий поверхностное пластическое деформирование вращающейся детали роликом с постоянным усилием с непрерывной подачей в зону деформирования смазочно-плакировочной жидкостной композиции, содержащей компоненты в следующих соотношениях (масс. %): измельченный графит – 2,5...3,0; кристаллический йод – 0,05...0,08; минеральное масло – остальное. В качестве измельченного графита рекомендуется использовать твердую графитовую смазку с размерами основной фракции не более 3 мкм. Добавление в смазочно-плакировочную жидкостную композицию кристаллического йода не только способствует созданию на сопряженной поверхности детали трибосистемы йодистых соединений с низкими коэффициентами трения, но и повышает температурную устойчивость графита.

Практика показала, что применение отделочно-упрочняющей обработки деталей трибосистем с созданием на их поверхностях модифицированного слоя дает наибольшую эффективность для тяжело нагруженных узлов машин и механизмов, эксплуатируемых в агрессивных и загазованных средах. Например, отделочно-упрочняющая обработка с графито-алюминиево-йодным модифицированием материала поверхностного слоя позволила практически в 3 раза позволяет увеличить межремонтный период деталей узлов трения при восстановлении деталей угольных комбайнов и карьерного оборудования.

Для восстановления деталей типа валов, эксплуатируемых в агрессивных средах при высоких температурах, больших скоростях знакопеременных нагрузках разработан способ совмещенной комбинированной антифрикционно-упрочняющей обработки с образованием регулярного микрорельефа на восстанавливаемой поверхности, включающий вибронакатывание или алмазное выглаживание с синхронным электролитическим натиранием тонких слоев реметаллизантов [8]. Такой способ восстановления валов позволяет в 1,5–2 раза увеличить их ресурс по сравнению с первоначальным.

Применение описанных технологий восстановления рабочих поверхностей деталей машин на ряде машиностроительных и ремонтно-механических предприятиях страны подтвердило их малозатратность и возможность использования в любых производственных условиях.

Список использованных источников

1. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием / В. Ю. Блюменштейн // Новые материалы в машиностроении : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск : Изд-во БГТУ, 2005. – Вып. 6. – С. 7 – 12.
2. Бутенко, В. И. Влияние предварительного индукционного нагрева на эффективность чистового точения деталей из железоуглеродистых сплавов / В. И. Бутенко // Вестник БГТУ. – 2018. – № 6. – С. 4 – 10.
3. Пат. РФ № 2679861. МПК В 23 В 25/00. Устройство индукционного нагрева при обработке поверхности детали резанием / Бутенко В. И. – 2019, Бюл. № 5.
4. Пат. РФ № 152055. МПК В 24 В 39/00. Устройство для упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей / Бутенко В. И. – 2015, Бюл. 12.
5. Пат. РФ № 164756. МПК В 24 В 39/00. Устройство для упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей / Бутенко В. И. – 2016, Бюл. 25.
6. Пат. РФ № 177508. МПК В 24 В 39/00. Устройство для упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей / Бутенко В. И. – 2018, Бюл. 7.
7. Бутенко, В. И. Модифицированные и многокомпонентные функциональные слои на поверхностях деталей машин / В. И. Бутенко. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2016. – 235 с.
8. Бутенко, В. И. Финишная обработка поверхностей деталей: способы, устройства, инструменты / В. И. Бутенко. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2016. – 219 с.
9. Бутенко, В. И. Технология создания металлополимерных слоев на контактных поверхностях деталей трибосистем / В. И. Бутенко // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2011. – № 12. – С. 38 – 44.

А. А. Кречетов, В. Ю. Блюменштейн, Л. И. Законнова
(ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева», Кемерово, Россия,
e-mail: krechetovaa@kuzstu.ru, blumenstein@rambler.ru, nir_belovo@mail.ru)

МЕХАНИЗМЫ НАСЛЕДОВАНИЯ В ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Аннотация. Проанализирована эволюция представлений о наследовании в живой природе. Представлены основные законы генетики. Дана характеристика гена как функциональной единицы наследственной информации. Представлены основные механизмы наследования. Приведены примеры практической реализации основных теоретических положений и закономерностей генетики в селекции животных. Выполнен анализ и представлены направления развития научных исследований в области технологического наследования.

Ключевые слова: ген, негенетическое наследование, индуцированные мутагенез, отдаленная гибридизация, механика технологического наследования, программа нагружения, запас пластичности, поверхностное пластическое деформирование (ППД).

A. A. Krechetov, V. Yu. Blumenstein, L. I. Zakonnova
(T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia)

MECHANISMS OF INHERITANCE IN LIVING AND NONLIVING NATURE

Abstract. The evolution of ideas about inheritance in living nature is analyzed. The basic laws of genetics are presented. The characterization of the gene as a functional unit of hereditary information is given. The main mechanisms of inheritance are presented. Examples of the practical implementation of the main theoretical provisions and regularities of genetics in animal breeding are given. The analysis is carried out and directions of development of scientific research in the field of technological inheritance are presented.

Keywords: gene, non-genetic heredity, induced mutagenesis, distant hybridization, technological heredity mechanics, loading programme, plasticity margin, surface plastic deformation (SPD).

Высшая форма движения материи, которая объединяет в себе все другие формы движения, – жизнь – отличается рядом особенностей, среди которых наиболее важным, на наш взгляд, является индивидуальное развитие в результате реализации генетической информации. Базовое свойство, которое обеспечивает способность организмов сохранять в потомках свои особенности, – *наследственность*.

Представления о наследовании в живой природе претерпевали эволюционные изменения в процессе становления и развития естественных наук. Совершенствовались представления о наследственности и механизмах наследования, среди них следует выделить следующие.

Ламаркизм – автор Ж. Б. Ламарк. Согласно его теории, организм стремится к повышению уровня организации.

Генетика (генное наследование) (Мендель, Морган, Фишер, Н. В. Тимофеев-Ресовский, Ф. Г. Добржанский, С. С. Четвериков). Сформировано ядро классической генетики, созданы современный эволюционный синтез, генетическая теория естественного отбора, появилась эволюционная теория развития. В формулировке А. С. Северцова: «Функциональной единицей наследственной информации является ген – комплекс нуклеотидов, кодирующих одну полипептидную цепь». Важнейшая нуклеиновая кислота – ДНК, локализована преимущественно в хромосомах клеточного ядра у ядерных организмов эукариот, а у безъядерных (прокариот) – непосредственно в цитоплазме клетки. В реализации программы экспрессии генов участвуют два вида нуклеиновых кислот – ДНК и РНК. Для молекулы ДНК характерны: *бессмертие и стабильность функционирования*, она в неизменном виде передается из одного поколения в другое, обеспечивая, благодаря взаимодействию отцовских и материнских геномов, преемственность уникальной генетической информации. ДНК способна к репарации, она обеспечивает механизм экспрессии генов для синтеза белковых продуктов.

Негенетическое наследование. Странники теории негенетического наследования важное значение придают средовому влиянию на наследование. В новой концепции фенотипической пластичности возрождается идея Ж. Ламарка о наследуемости фенотипических признаков. История сделала полный виток: учение Ж. Б. Ламарка снова становится актуальным!

Практическая реализация основных теоретических положений и закономерностей науки о наследовании осуществляется селекцией. Селекция растений и животных, являясь основой возникновения и развития цивилизации, по-прежнему остается во многом непредсказуемым процессом, и выяснение ее теоретических предпосылок и закономерностей, возможность прогнозирования – насущная необходимость. В работе показана реализованная модель селекции беловского карпа (п. Инской, Беловский район, Кузбасс) [1].

В биологии/генетике для количественной оценки наследуемости используются различные коэффициенты, например коэффициент h^2 , определяющий долю генотипической изменчивости в структуре общей наблюдаемой изменчивости, коэффициент наследуемости и др.

В течение последних примерно 70 – 80 лет исследований сложилась определенная терминология в области технологической наследственности/технологического наследования (ТН). Вполне очевидно, что многие термины заимствованы из биологии/генетики включая сам термин «наследование». В 30 – 60-е годы XX века ключевое внимание уделялось вопросам повышения точности механической обработки и сборки машиностроительных изделий. Соколовский А. П., анализируя точность обработки деталей на металлорежущих станках, показал, что высокая жесткость технологической системы является одним из основных условий обеспечения высокой точности обработки. Введено понятие «уточнение», под которым понимают отношение одноименных погрешностей

заготовки и обрабатываемой детали. Неточность заготовки отражается на обработанной детали в виде аналогичной неточности: погрешность заготовки *копируется/наследуется* на детали. К 50-м годам XX века сложилось учение о припусках в машиностроении. Кован В. М. предложил проводить размерный анализ от конечной (сборка) к начальной (заготовка) стадиям производства, что нашло отражение в методике расчета припусков. При этом предшествующий переход определял величину припуска, т.е. учитывались *наследуемая шероховатость и наклеп (упрочнение) поверхностного слоя*. В данной методике предполагалось, что величина припуска должна предусматривать удаление не только предшествующей шероховатости, но и наклепа (упрочнения) металла поверхностного слоя от предшествующего перехода. Многочисленными исследованиями установлено *технологическое наследование конструктивных форм, волнистости и других погрешностей более высокого порядка*. Можно полагать, что в 30 – 60-е годы XX века *носителем наследственной информации считалась изготавливаемая деталь, точностные параметры которой «копировались» (наследовались) по ходу технологического процесса*.

К началу 60-х годов XX века существенно возросли требования к надежности деталей машин, что потребовало нового подхода к оценке технологических процессов. Ящерицын П. И., выполнив комплекс исследований точности и качества поверхностного слоя (ПС) деталей подшипников, обосновывает необходимость *рассмотрения свойств обработанных поверхностей в зависимости от всей совокупности выполняемых операций* [2]. Показано, что в технологическом процессе существуют своеобразные «барьеры», являющиеся препятствием для некоторых параметров, описывающих поверхностный слой изделия. При этом выделяют *положительные и отрицательные факторы технологической наследственности*; при проектировании технологических процессов в структуру следует вводить операции, которые создавали бы больше препятствий к прохождению к финишной операции отрицательных факторов.

В этот же период А. М. Дальский показал *роль наследственности в обеспечении надежности высокоточных деталей машин* [3]. Концептуальная модель разработана с использованием метода графов; описан ряд последовательных наследственных состояний поверхностного слоя по ходу технологического процесса. Автор полагает, что рассматриваемые графы сходны с графами генеалогическими и показывают *передачу наследственной информации* от одного объекта к другому. Наряду с графическим представлением использованы и количественные оценки в виде взаимной корреляционной функции, нормированной корреляционной функции и системы наследственных коэффициентов. Отмечается, что *носителями наследственной информации являются собственно материал детали, а также ее поверхности с многообразием параметров, описывающих состояние этих поверхностей*.

Дальским А. М., Васильевым А. С. и Кондаковым А. И. были проведены фундаментальные исследования и *установлены основные формы наследования, проявляющиеся в технологических средах различных уровней: параметрическое, структурное и насле-*

дование характеристик взаимодействия выделенного объекта (заготовки) с внешней средой [4]. При этом авторы рассматривают технологическую среду как виртуальный объект, взаимодействие которого с предметом труда приводит к таким же результатам, что и у совокупно образующих его объектов. Сквозной технологический процесс изготовления изделия представляется как процесс трансформации и сохранения свойств изделия. Превалирует мнение о том, что носителем наследственной информации является тонкий поверхностный слой, формирующийся на всем протяжении технологического процесса.

Суслов А. Г. полагает, что описание технологической наследственности может быть представлено различными вариантами структурных моделей. Ключевое внимание уделяется совершенствованию методов обработки и сборки, разработке аналитического расчетного аппарата процессов с учетом ТН [5]. При этом проектирование, изготовление, эксплуатация и ремонт деталей машин рассматриваются как единый процесс. Носителем наследственной информации является поверхностный слой детали.

В рамках механики технологического наследования проводится оценка накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности в очагах пластической деформации на стадиях жизненного цикла в условиях изменяющейся схемы напряженно-деформированного состояния. Наряду с известными показателями качества для моделирования, выполнения расчетов и экспериментальных исследований используются известные из механики деформируемого твердого тела такие параметры, как показатель схемы напряженного состояния Π , степень деформации сдвига Λ , тензор остаточных напряжений $[T\sigma_{ост}]$, степень исчерпания запаса пластичности (СИЗП) Ψ и др. [6, 7]. СИЗП – это скаляр, характеризующий отношение накопленной деформации к предельной для данного показателя схемы напряженного состояния; в неупрочненном металле $\Psi = 0$, а при полном исчерпании запаса пластичности – $\Psi = 1$.

Закономерности накопления деформации и исчерпания запаса пластичности при одинаковых технологических и эксплуатационных воздействиях определяются структурным состоянием металла, в том числе характерным размером структуры \tilde{x}_i , температурными параметрами реализации процесса Θ , особенностями химического состава c_j (рис. 1). Технологические и эксплуатационные воздействия приводят к возникновению тензоров напряжений и деформаций $T\sigma$ и $T\varepsilon$. Общий уровень накопленной деформации определяется значением накопленной степени деформации сдвига Λ .

Накопление деформации в условиях изменения напряженного состояния, характеризующегося показателем Π , приводит к накоплению поврежденности металла, которая характеризуется показателем степени исчерпания запаса пластичности Ψ . Разрушение металла происходит при достижении деформации предельного значения Λ_p . При этом значение предельной деформации зависит от показателя напряженного состояния. Для деформирования в условиях сжатия, когда $\Pi < 0$, предельное значение деформации, которое материал может накопить до разрушения больше, чем для деформирования в условиях растяжения, при положительных значениях Π . Зависимость $\Lambda_p(\Pi)$ называется диаграммой пластичности и является одной из базовых механических характеристик материала.



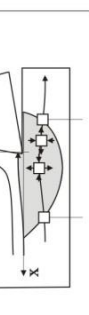

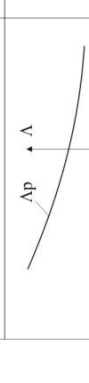
Исходное состояние	Резание	ППД	Циклическая долговечность	Циклическая трещиностойкость
$(\theta, \vec{\gamma}, c, j) \rightarrow T\sigma, T\epsilon \rightarrow \Lambda(\Pi) \rightarrow \Psi$				
$\begin{cases} H = I_2(D\xi) \\ \Lambda = \int H dt \end{cases}$	$\begin{cases} \Lambda_0 = 0 \\ \Psi_0 = 0 \\ [T\sigma_{осм}] = [T\sigma_{осм}]_{рез} \end{cases} \begin{cases} \Pi = I_1(T\sigma) / I_2(T\sigma) \\ \Lambda = \Lambda_{рез} \\ \Psi = \Psi_{рез} \\ \Psi_{рез} = f(\Lambda(\Pi)_{рез}) \end{cases}$	$\begin{cases} \Lambda_0 = \Lambda_{мех} \\ \Psi_0 = \Psi_{мех} \\ [T\sigma_{осм}] = 0 \end{cases} \begin{cases} \Pi = I_1(T\sigma + \sigma_{осм}) / I_2(T\sigma + \sigma_{осм}) \\ \Lambda = \Lambda_{мех} + \Lambda_{ип} \\ \Psi = \Psi_{мех} + \Psi_{ип} = 1 \\ \Psi_{ип} = f(\Lambda(\Pi)_{ип}) \end{cases}$	$\begin{cases} K_{k k=1} = K_{об} \cdot \left(\frac{db}{dN} \right)_{k=1} = 0 \\ K_{k k=2} = K_{1-2} \cdot \left(\frac{db}{dN} \right)_{k=2} = \left(\frac{db}{dN} \right)_{1-2} \\ K_{k k=3} = K_{2-3} \cdot \left(\frac{db}{dN} \right)_{k=3} = \left(\frac{db}{dN} \right)_{2-3} \\ K_{k k=4} = K_{3-4} \cdot \left(\frac{db}{dN} \right)_{k=4} = \left(\frac{db}{dN} \right)_{3-4} \end{cases}$ $N = \sum_{k=1}^{k=4} N_k$	
<p>Схема</p>	<p>Программа нагружения</p>	<p>Накопление деформации</p>	<p>Кинетические уравнения</p>	<p>Диаграмма вязкости разрушения</p>

Рис. 1. Механика накопления деформации и поврежденности металла поверхностного слоя на стадиях жизненного цикла

*В рамках механики технологического наследования носителем наследственной информации является материал очага деформации, в котором происходит пластическое течение металла, а состояние металла в нем рассматривается при использовании единой методологии – накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности. Процессы нагружения рассматриваются в режиме *online*, т.е. рассматривается процесс технологического наследования; физическое состояние поверхностного слоя определяется как результат пластического течения металла в очаге деформации, протекающего в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Выявленные механизмы позволяют выполнить расчет традиционных показателей качества поверхностного слоя с учетом технологического наследования в зависимости от вида программ нагружения на каждом этапе и накопленной деформации после каждой стадии нагружения. Разработана совокупность математических моделей, позволяющих по заданным технологическим и эксплуатационным воздействиям, базовым механическим свойствам материала прогнозировать накопление деформации и поврежденности металла поверхностного слоя в процессах изготовления и эксплуатации изделия. Наличие таких моделей позволяет проводить аналитическое описание процессов и положить его в основу создания *цифровых двойников*. Цифровой двойник представляет собой совокупность моделей формы и материала изделия, моделей технологических и эксплуатационных воздействий.*

К концу 90-х – началу 2000-х годов становится очевидным, что традиционный макро- и микроинструментарий исследований качества поверхностного слоя в наследственной постановке исчерпал себя; это существенно затрудняло получение новых знаний и закономерностей поведения металла под нагрузкой. В настоящее время актуальны исследования в области физики металлов и кристаллографии, позволяющие получать уникальные знания, развивать эволюционные представления о пластической деформации и кристаллических структурах материалов. Важным является наследственный характер происходящих явлений локализации пластической деформации. Установлено, что формы локализации только в количественном смысле зависят от структуры и типа кристаллической решетки исследуемого материала, а их качественный тип полностью определяется действующими на соответствующей стадии [8]. В области кристаллофизики важнейшие достижения в этой области демонстрирует А. Р. Оганов [9]. Автор разработал и использует эволюционный, а, по мнению ряда физиков, революционный алгоритм для прогнозирования и формирования новых уникальных структур кристаллов. Согласно алгоритму, кристаллическая структура оценивается с позиций энергетического состояния. Эволюционные расчеты «самообучаются» и фокусируют поиск на наиболее интересных областях пространства. Существуют области с низкими энергиями и с высокими энергиями. Выполняется случайное прощупывание очень редкой сеткой всей области поиска; наиболее выгодная область – это низкая энергетическая область. Далее выполняется поиск и нахождение самой устойчивой структуры. Важно одно – чтобы рецепт «*произведения детей от родителей*» был физически обоснован, чтобы это был строгий и интуитивно правильный подход. По мнению А. Р. Оганова, «*есть несколько способов произведения детей из родителей – это либо наследственность, когда*

элементы двух родителей, отца и матери, комбинируются, и таким образом производится ребенок, либо же это разного рода мутации». На современном этапе развития научных знаний такие подходы позволяют получать принципиально новые знания и закономерности и использовать их для создания новых уникальных материалов, технологий и изделий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00587.

Список использованных источников

1. Законнова, Л. И. Разработка стратегии селекции тепловодного беловского карпа на этапе стабилизирующего отбора / Л. И. Законнова // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 10 (часть 3). – С. 581 – 585. – URL : www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7981491 (дата обращения: 02.11.2011).
2. Ящерицын, П. И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства деталей / П. И. Ящерицын. – Минск : Наука и техника, 1971. – 210 с.
3. Дальский, А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин / А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 1975. – 223 с.
4. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А. М. Дальский, Б. М. Базров, А. С. Васильев и др. ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МАИ, 2000. – 364 с.
5. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
6. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
7. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С. А. Чижик и др. // под общ. ред. М. Л. Хейфеца. – Минск : Беларуская навука. – 2019. – 248 с.
8. Зув, Л. Б. Физика макролокализации пластического течения / Л. Б. Зув, В. И. Данилов, С. А. Баранникова. – Новосибирск : Наука, 2008. – 327 с.
9. *Modern Methods of Crystal Structure Prediction* / ed. A. R. Oganov // Wiley-VCH. – 2010.

Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская

(Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия,
e-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru, nvtchi@yandex.ru)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ

Аннотация. Проведен сравнительный анализ различных методов построения многофакторных, в общем случае нелинейных, регрессионных моделей процессов механической обработки на примере резания с опережающим пластическим деформированием. Показано, что корректное построение нелинейных моделей возможно только в результате предварительной обработки экспериментально получаемых значений, а наименьшая относительная погрешность и максимальная достоверность моделирования достигается в результате предварительной нормализации исходных данных по правилам «итальянского куба». Показана возможность предварительной оценки закономерностей процесса на этапе статистического моделирования.

Ключевые слова: многомерная модель, стандартизация, центрирование, аддитивная модель, мультипликативная модель, относительная погрешность, адекватность модели, сила резания, теплофизические свойства.

Ju. L. Tchigirinsky, N. V. Chigirinskaya

(Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia)

ANALYZE OF STATISTICAL MODELING METHODS FOR CUTTING PROCESSES

Abstract. A comparative analysis of various methods for constructing multifactorial, in the general case, nonlinear, regression models of machining processes by the example of cutting with advanced plastic deformation is carried out. It is shown that the correct construction of nonlinear models is possible only as a result of preliminary processing of the experimentally obtained values, and the smallest relative error and maximum modeling reliability are achieved as a result of preliminary normalization of the initial data according to the rules of the "Italian cube". The possibility of a preliminary assessment of the regularities of the process at the stage of statistical modeling is shown.

Keywords: multidimensional model, standardization, centering, additive model, multiplicative model, relative error, model adequacy, cutting force, thermophysical properties.

Введение. Говоря о применимости статистических моделей для изучения сложных технических систем, следует, безусловно, отметить очень малую степень детализации знаний о системе и невозможность объяснения внутренних причин функционирования изучаемой системы. В то же время статистические модели позволяют с достаточной достоверностью описать внешнее поведение и получить количественную оценку функционирования системы.

Процессы механической обработки можно рассматривать как весьма сложные технические системы, представляющие собой синергетическую совокупность множества элементарных физических и химических процессов: деформационных, термических, акустических, электромагнитных, диффузионных и т.д. Учитывая неоднозначность свойств материалов контактной пары, следует говорить о стохастическом характере процессов механической обработки, что требует привлечения для моделирования именно статистических методов. Многофакторное регрессионное моделирование является наиболее распространенным [1 – 3] средством статистической обработки и анализа экспериментальных данных. При проведении исследований в области теории резания и технологии машиностроения в качестве моделей рассматриваются [4, 5], как правило, линейные (1), степенные (2) и экспоненциальные (3) математические зависимости:

$$R = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \Phi_j ; \quad (1)$$

$$R = a_0 \prod_{j=1}^n \Phi_j^{a_j} ; \quad (2)$$

$$R = a_0 \prod_{j=1}^n a_j^{\Phi_j} , \quad (3)$$

где R – функция отклика, представляющая результат моделируемого процесса; Φ_j – каждая из комплекса независимых переменных, отражающих условия осуществления процесса; a_0 – постоянная регрессии; a_j – каждый из коэффициентов регрессии « Φ_j на R », отображающий степень влияния соответствующей независимой переменной на функцию отклика.

Построение регрессионной модели сводится к выбору спецификации модели (1), (2) или (3), расчету коэффициентов регрессии и оценке погрешности построенной модели. Выбор спецификации модели определяется, как правило, общепринятыми представлениями о моделируемом процессе, наиболее часто основанными на эмпирическом знании. Построение регрессионной модели рассматривается как начальный этап изучения процесса, когда экспериментатор по ограниченному набору эмпирических данных пытается определить и обосновать направление дальнейших исследований, раскрывающих именно физические закономерности. Соответственно, основной целью статистического моделирования является получение инструментального средства – математической зависимости [1 – 4] – для количественной оценки результатов процесса при определенных условиях.

Постановка задачи. Цель статьи – показать возможности статистического моделирования в части количественного сравнения степеней влияния объясняющих переменных на функцию отклика и оценки корректности выбора объясняющих переменных.

Методология и методика исследования. В рамках данной работы авторы полагают, что количество экспериментов, определяемое в соответствии со спецификацией модели, достаточно для корректного расчета коэффициентов регрессии; объясняющие переменные попарно взаимно независимы; объясняющие переменные представляют управляемые факторы процесса. Параметры регрессионных моделей можно рассчитать на основании:

- данных, полученных при проведении серии экспериментов в результате прямых наблюдений – значения функции отклика и объясняющих переменных в этом случае являются размерными физическими величинами; трансцендентные математические преобразования таких величин являются недопустимыми с математической точки зрения и, следовательно, построение мультипликативных моделей (2), (3) с помощью штатных средств табличных процессоров невозможно, так как невозможно выполнить преобразование нелинейной математической модели к линейному виду;

- экспериментальных данных после предварительной стандартизации и центрирования [5] – значения функции отклика и объясняющих переменных выражаются в долях стандартного отклонения и, следовательно, становятся безразмерными; трансцендентные преобразования (например, логарифмирование или потенцирование) таких величин возможны частично, поскольку в результате центрирования обязательно появляются неположительные значения переменных модели; для корректного преобразования исходных мультипликативных моделей (2), (3) к линейному виду необходимо дополнительное линейное преобразование стандартизованного координатного пространства модели – сдвиг начала системы координат в область положительных чисел;

- экспериментальных данных после предварительного нормирования [5], т.е. приведения измеренных величин к диапазону предельных значений. Полученные в результате такого преобразования, линейного – для исходной спецификации (1), – или с использованием трансцендентных функций, для мультипликативных исходных моделей (2), (3), безразмерные переменные образуют линейное координатное пространство.

Отметим, что комплекс условий Гаусса–Маркова [2, 5] требует, чтобы масштабные шкалы всех переменных модели были одинаковыми, поэтому предварительная обработка выполняется как для независимых (объясняющих) переменных модели, так и для функции отклика.

Результаты исследования. Оценим выполнимость этих условий для названных выше подходов к статистическому моделированию на примере процесса точения с ОПД отклонения профиля Ra . Условия обработки определяются следующими технологическими факторами: скорость резания (Φ_1), коэффициент теплопроводности инструментального материала (Φ_2), скорость подачи инструмента (Φ_3), относительная глубина наклепа (Φ_4). Исследование процесса выполнялось с использованием методов полного факторного планирования эксперимента вида 3^4 [5]. В таблицах 1, 2 приведены данные, характеризующие регрессионные модели, получаемые при использовании различных способов нормирования исходных значений.

1. Интервалы варьирования переменных

Спецификация модели	Функция отклика	Объясняющие переменные				Способ нормирования
		Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	
Линейная	[1,0; 3,4]	[90; 180]	[11; 50]	[0,083; 0,256]	[0,001; 2,500]	
Линейная	[-1,52; +2,49]	[-1,22; +1,22]	[-1,15; +1,29]	[-1,21; +1,24]	[-1,22; +1,22]	Стандартизация и центрирование
Степенная	[-1,96; +2,03]	[-1,29; +1,15]	[-1,29; +1,14]	[-1,31; +1,12]	[-1,41; +0,80]	Логарифмирование, затем стандартизация и центрирование
Показательная	[-1,96; +2,03]	[-1,22; +1,22]	[-1,15; +1,29]	[-1,21; +1,24]	[-1,22; +1,22]	Логарифмирование, затем стандартизация и центрирование
Линейная	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	Нормирование
Степенная	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	Логарифмическое нормирование
Показательная	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	[-1; +1]	

2. Результаты моделирования

Спецификация модели	Коэффициенты регрессии					Относительная погрешность	Адекватность
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4		
<i>Без нормирования</i>							
Линейная	-0,222	5,289	0,012	0,002	0,716	99,71%	0,0000
<i>Стандартизация и центрирование</i>							
Линейная	-0,379	0,010	0,012	0,920	3,5e – 16	32,98%	0,2363
<i>Нормирование – коэффициенты нормированной модели</i>							
Линейная	-0,290	0,130	0,260	0,440	-0,170		
Степенная	-0,010	0,070	0,160	0,370	-0,210		
Показательная	-0,010	0,070	0,190	0,390	-0,230		
<i>Нормирование – коэффициенты модели в реальном масштабе $R(\Phi_1, \dots, \Phi_4)$</i>							
Линейная	0,130	0,003	0,016	5,976	-0,171	15,62%	0,9973
Степенная	1,381	0,107	0,134	0,401	-0,037	13,41%	0,9880
Показательная	0,967	1,001	1,006	15,070	0,888	13,09%	0,9852

Анализ данных табл. 1 показывает, что полноценное использование результатов моделирования возможно при построении модели на основе предварительно нормированных данных, поскольку только в этом случае соблюдаются условия Гаусса–Маркова в отношении ортогональных и ротатабельных планов эксперимента.

Каждая из переменных линейной исходной модели (1) имеет уникальный диапазон варьирования размерных значений, причем собственно абсолютные значения переменных различаются на несколько порядков, следовательно, координатное пространство модели является несимметричным и неортогональным.

Величины переменных, полученные в результате стандартизации и центрирования, характеризуются значениями одного порядка, но интервалы варьирования переменных не совпадают, следовательно, говорить о выполнении условий Гаусса–Маркова и о достаточной корректности моделирования также нельзя.

В результате нормирования для всех спецификаций исходных моделей (1), (3) получены совпадающие интервалы варьирования, т.е. координатное пространство эксперимента является ортогональным и ротатабельным – комплекс условий Гаусса–Маркова выполняется.

Говоря о полноценном использовании, мы подразумеваем возможность не только прогнозировать ожидаемые результаты процесса, но и сравнивать факторы по степени влияния на функцию отклика и тем самым отбирать факторы для исследования физических закономерностей изучаемого процесса.

Методики расчета значений и оценки значимости коэффициентов регрессии, оценки погрешности и адекватности моделей подробно описаны в работе [5]. Значимость факторов оценивается по величине критерия Стьюдента [2, 3], адекватность модели – по критерию Фишера [1, 2].

Выводы.

1. Точность и достоверность моделирования при построении линейной регрессии (табл. 2, раздел «Без нормирования») являются недопустимо низкими.

2. Удовлетворительные в отношении погрешности и достоверности результаты могут быть получены при использовании нормированных исходных данных (табл. 2, раздел «Нормирование – коэффициенты модели в реальном масштабе»).

3. Коэффициенты регрессии, рассчитанные для нормированных величин переменных модели, позволяют выполнить сравнительную оценку значимости факторов на результат процесса, например для показательной (минимальная относительная погрешность) модели:

– наибольшее влияние на величину Ra оказывает фактор Φ_3 – скорость подачи инструмента (нормированный коэффициент регрессии $a_3 = 0,39$);

– степень влияния опережающей пластической деформации ($a_4 = 0,23$) и теплофизических свойств инструментального материала ($a_2 = 0,19$) ниже соответственно примерно в 1,5 и 2,0 раза;

– степень влияния скорости резания оценивается величиной $a_1 = 0,07$, сравнимой с влиянием всех остальных неучтенных факторов (случайных факторов, погрешностей процесса) – $a_0 = 0,01$.

Список использованных источников

1. Ronald A. Fisher (1954). *Statistical Methods for Research Workers* (12th ed.). Edinburgh: Oliver and Boyd. ISBN 978-0-05-002170-5.
2. Montgomery, Douglas (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
3. Григорьев, Ю. Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели : учеб. пособие / Ю. Д. Григорьев. – СПб. : Лань, 2015. – 319 с.
4. Кристаль, М. Г. Обработка результатов планирования экстремального эксперимента : учеб. пособие / М. Г. Кристаль, А. Ю. Горелова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 70 с.
5. Чигиринская, Н. В. Моделирование неперiodических стохастических процессов : учеб. пособие / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский, А. С. Горобцов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 108 с.
6. Dmitriy Krainev, Alexander Bondarev and Zhanna Tikhonova. *Mathematical Apparatus for Predicting Cutting Tool Life in Turning Process After Prior Plastic Deformation // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) (Sochi, Russian Federation, March 25-29, 2019). Vol. II, part 2 / ed. by A. A. Radionov [et al.] ; South Ural State University (National Research University), Moscow Polytechnic University, Platov South-Russian State Polytechnic University, Volgograd State Technical University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, [2020]. – P. 1107 – 1114. – URL : <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-22063-1>. – (Book ser.: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME)*
7. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев // *Металлообработка*. – 2012. – № 1. – С. 11 – 15.

УДК 621.793.71

А. М. Кадырметов¹, Ю. Э. Симонова², Е. В. Снятков¹, А. А. Плахотин¹

(¹Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия,

e-mail: kadyrmetov.a@mai.ru, snyatkov@list.ru, vip.plahotin@mail.ru;

²Воронежский технический университет, Воронеж, Россия, e-mail: jsim2@bk.ru)

УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Аннотация. В статье на основе математических моделей процессов газопламенного напыления и плазменного оплавления покрытия представлены расчетные распределения газодинамических параметров в двухфазной сверхзвуковой струе и температуры в подложке, позволяющие оценивать режимы указанных процессов.

Ключевые слова: сверхзвуковое газопламенное напыление, плазменное оплавление.

A. M. Kadyrmetov¹, Ju. E. Simonova², E. V. Snyatkov¹, A. A. Plahotin¹

(¹Voronezh State Forestry Engineering University named
after G. F. Morozov, Voronezh, Russia;

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia)

EFFICIENCY MANAGEMENT OF GAS-DYNAMIC PROCESSES OF GAS-FLAME SPRAYING

Abstract. In the article, on the basis of mathematical models of the processes of gas-flame spraying and plasma fusion of the coating, the calculated distributions of gas-dynamic parameters in a two-phase supersonic jet and temperatures in the substrate are presented, which make it possible to evaluate the modes of these processes.

Keywords: supersonic gas-flame sputtering, plasma reflow.

Снижение интенсивности изнашивания направляющих станков и обеспечение их заданного ресурса является важной задачей, от решения которой зависит точность изготовления деталей вследствие их интенсивного износа. Это особенно актуально для направляющих скольжения, доля которых составляет около 60% для токарных станков, при этом коэффициент переноса непрямолинейности направляющих на точность изготовления изделия достигает значения 0,6, что приводит к выпуску брака. Износ направляющих станины при правильной эксплуатации составляет 0,04...0,10 мм и более в год, при этом износ, равный 0,1 мм, условно принимается предельным [1 – 4].

Наиболее эффективным решением данной задачи является нанесение и упрочнение покрытий различными методами [5]. Среди них к прогрессивным технологиям относятся газотермические и плазменные технологии напыления-наплавки [6, 7]. Исходя из того, что максимальная величина износа направляющих станков составляет 0,1 мм, то даже с учетом удаления дефектного слоя с изношенной поверхности перед нанесением покрытия и припуска на обработку нанесенного слоя толщина покрытия должна быть не более 0,25 мм. Учитывая, что минимально возможная толщина плазменной наплавки составляет 0,5 мм, газопламенной наплавки – 0,3 мм, то их использование нецелесообразно. В этом случае для нанесения покрытия целесообразно использование газотермического напыления покрытия с последующим его оплавлением. С учетом того, что напыленное покрытие предусматривается упрочнять оплавлением, в результате чего устраняются недостатки его качества, то критерием выбора метода напыления среди газотермических способов становится критерий экономичности. В этом случае целесообразным является использование наименее экономически затратного газопламенного напыления [8].

Теоретическая оценка выбора параметров газопламенного напыления. Качество покрытия определяется процессами соединения напыляемых частиц с основой и друг с другом, а также другими факторами. Эти процессы в свою очередь определяются механизмом и кинетикой физико-химических процессов с позиций теории топохимических реакций при сварке материалов, предложенных Ю. Л. Красулиными и М. Х. Шоршоровым [9]. В соответствии с этими представлениями изменение относительной прочности соединения частиц с основой определяется отношением количества прореагировавших за время t атомов $N(t)$ к общему количеству атомов на поверхности основы или частицы N_0 [9]:

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma_{\max}} = \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \exp \left[- \frac{vt}{\exp \left(\frac{E_a}{kT_k} \right)} \right],$$

где $\sigma(t)$ – прочность соединения, достигнутая за время t ; σ_{\max} – максимальная прочность, которую можно получить при завершении процесса; v – частота собственных колебаний атомов; E_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана; T_k – температура контакта, измеренная по абсолютной шкале температуры.

Количество прореагировавших атомов в свою очередь определяется энергетическим состоянием подложки и напыляемых частиц в момент удара их о подложку. Энергетическое состояние очищенной подложки определяется ее температурой $T_{\text{п}}$, а энергетическое состояние частиц – их скоростью $V_{\text{ч}}$ и температурой $T_{\text{ч}}$ [9]. Подогрев основы в инертной среде или динамическом вакууме существенно повышает качество покрытия, однако в открытой атмосфере при температуре выше некоторого критического значения $T_{\text{п.кр}}$ начинается интенсивное окисление металлической поверхности основы с образованием интерференционно окрашенных пленок, что сопровождается резким снижением прочности соединения покрытий [10]. Так, для сталей рост прочности соединения покрытий с основой происходит при увеличении температуры предварительного подогрева до 100...130 °С [11].

Для газопламенного напыления влияние скорости $V_{\text{ч}}$ и температуры $T_{\text{ч}}$ металлических частиц в основном положительное – с их увеличением растет прочность соединения покрытия с металлической основой [9, 10]. При этом размеры частиц должны иметь малый фракционный разброс и малый перегрев относительно температуры плавления для предотвращения дробления частиц в процессе напыления. Для предотвращения разрушения частиц при ударе о подложку скорость частиц не должна превосходить порогового значения, составляющего 350...400 м/с [12]. Следовательно, при использовании дозвуковых горелок целесообразным является достижение максимально возможных скоростей. Газовая струя должна иметь нейтральную или восстановительную среду для предотвращения окисления частиц.

Теоретическая оценка зависимости скорости $V_{\text{ч}}$ и температуры $T_{\text{ч}}$ металлических частиц от факторов газопламенного напыления определяется с помощью математической модели, позволяющей оценить с допустимой погрешностью главные параметры процесса [13, 14]. В общем случае математическая модель описывает газодинамические процессы напыления как для дозвукового, так и для сверхзвукового напыления. В модели принимались следующие допущения:

1. Газовые компоненты и продукты их сгорания принимались идеальными газами со слабо меняющимися удельными теплоемкостями при изменении температуры.
2. Движение потока описывается изоэнтропическим распределением параметров, является адиабатическим с отсутствием вязкого сопротивления.
3. Объемная доля частиц в двухфазном потоке не превышает 4% и ее влияние на газовую струю незначительно.
4. Поведение и состояние частиц в потоке обусловлено градиентами их скоростей и температур относительно параметров продуктов сгорания.
5. Присоединение наружного воздуха к струе не учитывается. Математическая модель включает в себя уравнения, представленные в табл. 1.

1. Уравнения математической модели газопламенного процесса

Рассчитываемый параметр	Уравнение	Номер
Давление в критическом сечении сверхзвукового сопла [15]	$P_{\text{кр}} = \frac{G_c \sqrt{RT_{\text{кк}}}}{S_{\text{кр}} k^{0,5} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}$	(1)
Площадь сечения сопла (число Маха) [16]	$S = \frac{S_{\text{кр}}}{M \left(\frac{\frac{k+1}{2}}{1 + \frac{k-1}{2} M^2} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}$	(2)

Рассчитываемый параметр	Уравнение	Номер
Давление внутри сопла в определенном сечении [16]	$P_2 = \frac{P_1 \left(1 + \frac{k-1}{2} M_1^2\right)}{1 + \frac{k-1}{2} M_2^2}$	(3)
Температура внутри сопла в определенном сечении [16]	$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$	(4)
Плотность потока	$\rho = \frac{P}{RT}$	(5)
Местная скорость звука в сечении	$a = \sqrt{kRT}$	(6)
Скорость потока в сечении	$v = Ma$	(7)
Длина потенциального ядра струи [17]	$L_c = D_s (3,5 + M_e^2)$	(8)
Скорость потока за срезом сопла [17]	$v = v_e \left(1 - \exp\left(\frac{0,85}{1 - \frac{x}{L_c}}\right)\right)$	(9)
Температура потока за срезом сопла [17]	$T = (T_B - T_a) \left(1 - \exp\left(\frac{1,25}{1 - \frac{x}{L_c}}\right)\right) + T_a$	(10)
Ускорение частиц в несущем потоке [17]	$a_{\text{ч}} = 0,375 C_d \frac{\rho}{\rho_{\text{ч}}} \frac{(v - v_{\text{ч}}) v - v_{\text{ч}} }{r_{\text{ч}}}$	(11)
Скорость частиц	$v_{\text{ч}} = v_{\text{ч}0} + a_{\text{ч}} dt$	(12)
Координата частицы	$x_{\text{ч}} = x_{\text{ч}0} + v_{\text{ч}0} dt + \frac{a_{\text{ч}} dt^2}{2}$	(13)
Температура частицы в потоке [17]	$\frac{dT_{\text{ч}}}{dt} = \frac{3\alpha(T_{\text{пот}} - T_{\text{ч}})}{\rho_{\text{ч}} r_{\text{ч}} C_{\text{рч}}}, \text{ при } T_{\text{ч}} < T_{\text{пл}}$	(14)
Коэффициент расплавленности частиц [18]	$\frac{df}{dt} = \frac{3\alpha(T_{\text{пот}} - T_{\text{ч}})}{\rho_{\text{ч}} r_{\text{ч}} dH}, \text{ при } T_{\text{ч}} = T_{\text{пл}}$	(15)

Обозначения в табл. 1: τ, t – текущее время; Q_{\min} – минимальная теплотворная способность, Дж/кг; φ – массовое соотношение компонентов; C_{p0} – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); T_0 – температура воздуха, К; C_{pp} – удельная теплоемкость продуктов сгорания Дж/(кг·К); G_c – суммарный массовый расход газов, кг/с; R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К); $S_{кр}$ – площадь критического сечения сопла, м²; k – показатель адиабаты; S – площадь сечения, м²; M_1, M_2 – число Маха в различных сечениях; P_1, P_2 – давление в сечении с числом Маха M_1 и M_2 соответственно, Па; T_1, T_2 – давление в сечении с числом Маха M_1 и M_2 соответственно; M_e – число Маха на срезе сопла; D_s – диаметр среза сопла, м; v_e – скорость потока на срезе сопла, м/с; x – текущая координата за срезом сопла, м; T_e – температура потока на срезе сопла, К; T_a – температура окружающего воздуха, К; $\rho, \rho_{ч}$ – плотность потока и частиц соответственно, кг/м³; $v, v_{ч}$ – скорость потока и частиц соответственно, м/с; $r_{ч}$ – радиус частицы; C_d – коэффициент лобового сопротивления частицы; $v_{ч0}$ – скорость частиц на предыдущем шаге интегрирования, м/с; dt – приращение времени, с; $x_{ч0}$ – координата частицы на предыдущем шаге интегрирования, м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $T_{пот}, T_{ч}, T_{пл}$ – температура потока, частиц и их плавления соответственно на каждом шаге интегрирования, К; $C_{рч}$ – теплоемкость частиц, Дж/К; dH – удельная теплота плавления, Дж/кг.

Результаты расчетов параметров несущего газового потока внутри сопла газопламенной, в общем случае, сверхзвуковой горелки приведены на рис. 1.

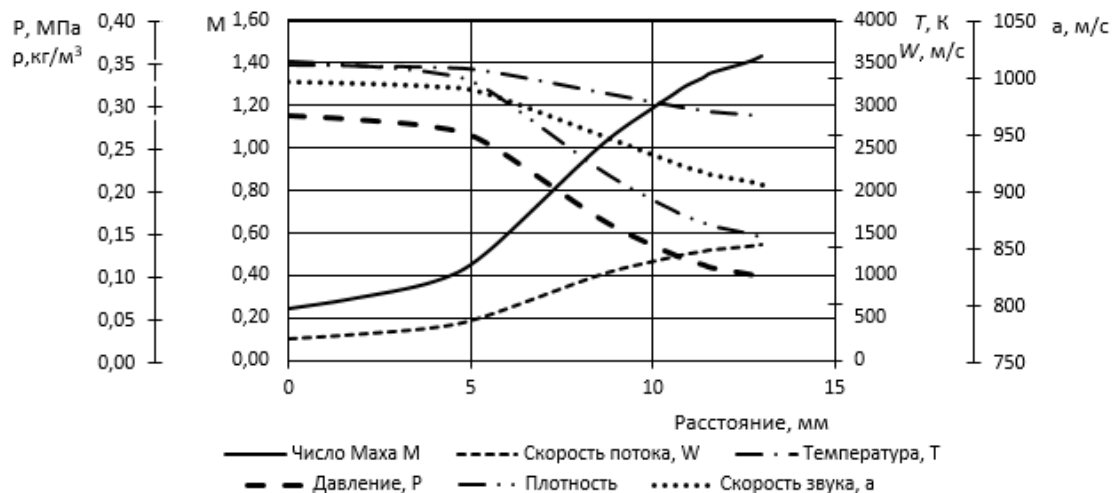


Рис. 1. Распределение параметров несущего газового потока по длине в камере сгорания и сверхзвуковом сопле газовой горелки

На рисунке 2 приведены расчетные зависимости параметров гетерогенной двухфазной сверхзвуковой струи, определяющих качество наносимого покрытия из порошка на никелевой основе ПГСР4 (~85% Ni, 13% Cr) фракцией 40 мкм при подаче порошка

в закритическую зону сопла. Результаты показывают рост скорости и постепенное падение температуры газовой фазы струи в сверхзвуковой части сопла и за срезом сопла. В распределении температуры частиц виден рост в сверхзвуковой части сопла до температуры плавления и постепенное падение в струе, но за счет тепловой инерции металла частицы охлаждаются медленнее, чем несущий поток. Скорость частиц продолжает расти за срезом сопла еще на некотором расстоянии с последующим медленным ее падением.

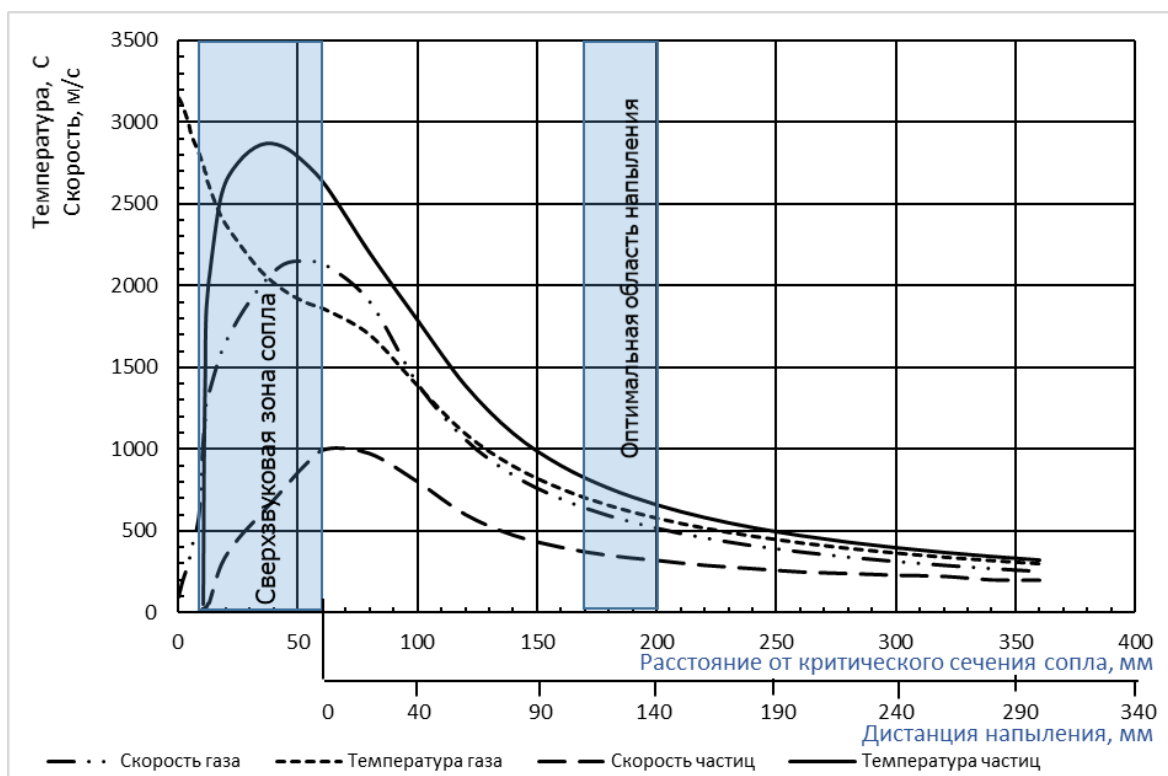


Рис. 2. Выбор параметров газопламенного напыления, обеспечивающих высокую прочность соединения покрытия с основой, низкую пористость и минимальный процент брака при оплавлении покрытия

Оценка температуры и степени оплавленности частиц является сложной задачей, определяемой дополнительными параметрами процесса: плотностью, теплоемкостью, теплопроводностью и удельной теплотой плавления материала частиц, а также меняющейся со временем границей плавления частиц.

К оценке влияния пульсаций потока на параметры частиц. Пульсирующее горение или акустическое воздействие на поток внутри сопла и на струю может являться дополнительным механизмом удобного управления скоростью и температурой частиц и, соответственно, качеством покрытий. Пульсирующее горение при частотах 20...100 Гц и температурах потока 1000...1300 К позволяет повысить эффективную скорость обдувания частиц пульсирующим потоком на величину до 70% [19]. Это приводит к заметному увеличению коэффициентов сопротивления движения частиц и теплопередачи им от потока, что особенно актуально для дозвуковых и трансзвуковых потоков газо-

пламенных горелок. Механизм повышения до 30% интенсивности теплопередачи напыляемым частицам от газового потока за счет бегущих волн скорости сказывается в частотном диапазоне 10...30 Гц [20, 21]. Интенсивность теплообмена напыляемых частиц со стационарным газовым потоком соответствует значению критерия Нуссельта $Nu \approx 2$ [22]:

$$Nu = \alpha d_{\text{ч}} / \lambda,$$

где $\alpha = Q / (\Delta T A)$ – коэффициент теплообмена; Q – количество теплоты, получаемой поверхностью частицы в единицу времени; ΔT – разность температуры газа и поверхности частицы; A – площадь поверхности; $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы; λ – коэффициент теплопроводности плазмы.

При рассмотрении движения частицы в потоке с регулярными бегущими волнами скорости число Нуссельта можно определять по формуле [23]

$$Nu_n = 2 + 0,64 \cdot \left[1 + (\text{Re}_{\text{эф}} / \text{Re})^{0,5} Hf \right] \text{Pr}^{1/3} \text{Re}^{0,5}, \quad (16)$$

где для гармонических колебаний

$$Hf = \left\{ 1 + \left[\gamma \left(1 + 0,3 \text{Re}_{\text{эф}}^{0,5} \right) / \pi \right]^2 \right\}^{-0,25}; \quad \text{Re}_{\text{эф}}^{0,5} = 0,763 \text{Re}_A^{0,5}; \quad (17)$$

$\text{Re}_A = d_{\text{ч}} v_a / \nu_{\Gamma}$ – число Рейнольдса для частицы, определяемое по амплитуде пульсаций скорости потока v_a ; $\gamma = 9 \nu_{\Gamma} \rho_{\Gamma} / (\rho_{\text{ж}} d_{\text{ч}}^2 f)$ – отношение полупериода волны возмущения ко времени затухания относительной скорости; ν_{Γ} – кинематическая вязкость потока; $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы; f – частота модуляции; Pr – число Прандтля.

Анализ выражений (16), (17) показывает, что критерий Нуссельта Nu_n и число Hf пропорциональны $f^{0,5}$, и при $f \rightarrow 0$ $Hf \rightarrow 0$, а при $f \rightarrow \infty$ $Hf \rightarrow 1$.

В работе [24] отмечается увеличение коэффициента теплоотдачи от потока частицам при турбулизации течения, а также увеличение до 3 раз коэффициента лобового сопротивления частиц. В работе [25] предлагается оптимальный частотный интервал модуляции потока:

$$f > \frac{5 \dots 7}{\tau_h},$$

где f – частота модуляции; τ_h – время для нагрева частицы до заданной температуры плавления. Из выражения следует, что рационально использовать модуляцию с периодом пульсаций, меньшим времени τ_h .

Теоретическая оценка выбора параметров оплавления покрытия. Прочностные свойства покрытий в значительной мере ослабляются остаточными напряжениями в них. Для оценки остаточных напряжений и надежности покрытия в условиях эксплуатации прежде всего необходимо знать поле температур в детали при оплавлении покрытия.

При перегреве основы с покрытием ухудшается структура основы, что может приводить к возникновению высоких остаточных напряжений растяжения, микротрещин в покрытии. Для снижения температурного влияния на основу в процессе оплавления покрытия и глубины его воздействия необходимо использовать более высокие удельные тепловые мощности в пятне оплавления с соответствующим увеличением скорости его перемещения вдоль покрытия. Этому требованию в большей степени удовлетворяет плазменная струя.

Применительно к плоским направляющим поле температур может быть оценено на основе положений Н. Н. Рыкалина [26] с помощью уравнения предельного состояния процесса распространения тепла в полуограниченном теле без теплоотдачи:

$$T(R, x, \infty) = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-\frac{vx}{2a} - \frac{vR}{2a}}, \quad (18)$$

где R – радиус-вектор от теплового источника, м; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; x, y, z – координата продольного перемещения источника тепла, перпендикулярная ему координата на поверхности и координата по глубине основы; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град).

Принятые допущения:

1. Мощность источника тепла постоянная во все время нанесения покрытия.
2. Источник тепла сосредоточен в элементарном точечном объеме; погрешность оценки температуры от этого в области пятна напыления до глубины, равной диаметру напыления, может быть учтена в дальнейшем.
3. Источник тепла равномерно и прямолинейно перемещается по изделию с постоянной скоростью.
4. Распространение тепла в теле происходит по закону теплопроводности Фурье.
5. Граница тела непроницаема для теплоотдачи от тела.
6. Коэффициенты теплофизических свойств основного металла (коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость) не зависят от температуры.
7. Фазовые и структурные превращения металла покрытия происходят без выделения и поглощения тепла.
8. Временем теплонасыщения можно пренебречь.

На основе решения (18) с использованием метода отражений и наложения (суперпозиции) тепловых волн можно оценить значения температур в направляющих и в том числе в краевых местах (на ребрах) направляющих.

Температура любой точки тела $T_i(x, y, z)$ определяется суммой температур начальных условий $T_n(x, y, z)$ и изменением температуры $T_0(x, y, z)$, возникающей в теле при данных граничных условиях с нулевыми начальными условиями:

$$T_i(x, y, z) = T_n(x, y, z) + T_0(x, y, z). \quad (19)$$

Так как тепловой источник при оплавлении покрытия на направляющей движется по параллельным линиям, то начальными условиями для каждого последующего прохода источника тепла является распределение температур от предыдущего прохода.

Поле температур складывается из поля, образованного движением теплового источника по оплавляемой поверхности, взятой как полуограниченное тело, полей, отраженных от граней тела, а также полей, образованных процессами выравнивания и среднеинтегрального увеличения температуры зуба от предыдущих проходов плазмотрона. Для направляющих станин станков среднеинтегральное увеличение температуры мало и им можно пренебречь.

Процесс выравнивания по окончании действия источника тепла описывается наложением двух одинаковых по величине и разных по знаку процессов теплонасыщения, сдвинутых по времени на величину запаздывания прохождения максимальной температуры $\sim t_m$ [26]:

$$T_B(x, y, z, t)|_{t=t_B} = T(x, y, z, t) - T(x, y, z, t - t_m), \quad (20)$$

где
$$t_m = \frac{z^2}{2a}. \quad (21)$$

Максимальная температура T_m в указанной точке может быть определена выражением [26]

$$T_m(z) = \frac{2}{\pi e} \frac{q}{\nu C_\gamma z^2}, \quad (22)$$

где q – тепловой поток, Вт; C_γ – объемная теплоемкость тела, Дж/(м³·К); ν – минимально необходимая скорость источника тепла, обеспечивающая заданную температуру T_m , м/с.

Зависимость максимальной температуры от мощности теплового источника, скорости его перемещения и координаты по глубине при движении по середине направляющей представлены на рис. 3. На границах направляющих (на их гранях) максимальная температура удваивается, а на концах граней – учетверяется.

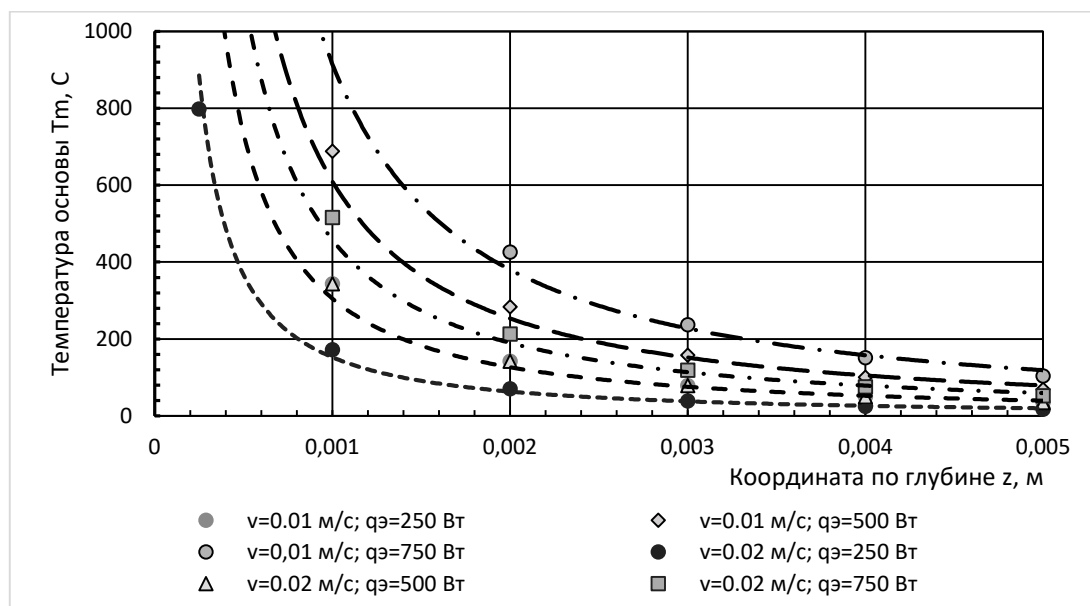


Рис. 3. Распределение максимальной температуры основы по глубине

Из зависимостей следует, что для оплавления в качестве источников тепла целесообразно использование плазменной струи.

Последующая обработка покрытий. Оплавленные и отшлифованные в размер покрытия требуют последующей обработки для снятия в них остаточных напряжений и устранения микротрещин после шлифования. Для этого целесообразны операции электро-механической или вибромеханической обработки, а в качестве финишной операции – финишной плазменной обработки покрытия. Оценка рациональных режимов данных процессов может быть сделана на основе работы [27].

Теоретические оценки показывают, что для получения высококачественных покрытий на направляющих станков с технико-экономической точки зрения целесообразно формировать покрытие газопламенным напылением, а оплавливать плазменной струей. Сверхзвуковое газопламенное напыление обеспечивает наиболее высокое качество покрытий, необходимое для их оплавления. Оплавление покрытий плазменной струей позволяет обеспечить минимальное термическое воздействие на основу по глубине, за счет высокой скорости оплавления, обеспечиваемой высокой мощностью источника, и скорости его движения. Представленные математические модели газопламенной струи с частицами и оценки распределения температур в основе позволяют оценивать оптимальные режимы напыления и оплавления покрытий.

Для снятия внутренних остаточных напряжений покрытия целесообразно обрабатывать электро-механической или вибромеханической обработкой. В качестве финишной операции целесообразно использование финишного плазменного упрочнения.

Список использованных источников

1. Минеев, А. С. Статистический анализ износа направляющих металлорежущих станков / А. С. Минеев // Физика, химия и механика трибосистем : межвуз. сб. науч. тр. / Иван. гос. ун-т. – Иваново, 2005. – Вып. 4. – С. 60 – 62.
2. Утенков, В. М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков с направляющими скольжения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / В. М. Утенков. – М., 1995. – 29 с.
3. Сердобинцев, Ю. П. Механизм изнашивания направляющих скольжения металлообрабатывающего оборудования / Ю. П. Сердобинцев, А. Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2006. – № 5. – С. 41 – 46.
4. Симонова, Ю. Э. Математическое описание процесса газопламенного напыления чугуновых направляющих скольжения металлорежущих станков / Ю. Э. Симонова, Ю. С. Ткаченко, В. М. Пачевский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8, № 3. – С. 79 – 82.
5. Симонова, Ю. Э. Состояние вопроса технологических методов ремонта и восстановления плоских пар трения металлорежущих станков (анализ состояния и перспективы развития) / Ю. Э. Симонова, Ю. С. Ткаченко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 9. – С. 3 – 7.
6. Тополянский, П. А. Сравнительные характеристики газотермических методов нанесения покрытий и упрочнения при атмосферном давлении / П. А. Тополянский,

Н. А. Соснин // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций : материалы практ. конф. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2002. – С. 3 – 22.

7. Соснин, Н. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 406 с.

8. Применение активированной дуговой металлизации для защиты изделий энергетического оборудования : в 2 ч. Ч. 1 / Ю. С. Коробов, В. Л. Мазуровский, А. С. Прядко и др. // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки : материалы 9-й Междунар. практ. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 144 – 149.

9. Кудинов, В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование : учебник для вузов / В. В. Кудинов, Г. В. Бобров. – М. : Metallurgia, 1992. – 432 с.

10. Петров, С. В. Плазменное газоздушное напыление / С. В. Петров, И. Н. Карп. – Киев : Наукова думка, 1993. – 495 с.

11. Кречмар, Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс / Э. Кречмар. – М. : Машиностроение, 1966. – 432 с.

12. Харламов, Ю. А. Моделирование соударения частиц с поверхностью детали при газотермическом нанесении покрытий / Ю. А. Харламов. – Ворошиловград, 1986. – 74 с.

13. Полак, Л. С. Исследование взаимодействия частиц порошка с потоком плазмы в сопле / Л. С. Полак, Н. С. Суров // Физика и химия обработки материалов. – 1969. – № 2. – С. 19 – 29.

14. Галаган, П. В. Исследование процессов газотермического напыления как технологических объектов автоматического управления : в 2 ч. Ч. 1 / П. В. Галаган // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика : материалы 15-й Междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 57 – 63.

15. Попов, В. Г. Жидкостные ракетные двигатели / В. Г. Попов, Н. Л. Ярославцев. – М. : Издательско-типографский центр – «МАТИ» – КТУ им. К. Э. Циолковского. – 2001. – 171 с.

16. Crow, C. T. Engineering fluid mechanics / C. T. Crow, D. F. Elger, B. C. Williams, J. A. Roberson. – 2010. – 600 p.

17. Tawfik, H. H. Mathematical modeling of the gas and powder flow in HVOF system / H. H. Tawfik, F. Zimmerman // Journal of Thermal Spray Technology. ASM International. – 1997. – V. 6, Is. 3. – P. 345 – 352.

18. Thayalan, V. Regulation of Powder Mass Flow Rate in Gravity-Fed Powder Feeder / V. Thayalan, R. G. Landers // University of Missouri-Rolla Department of Mechanical Engineering. – 2005. – 32 p.

19. Северянин, В. С. Пульсирующее горение – способ интенсификации теплотехнических процессов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. С. Северянин. – Саратов, 1984. – 49 с.

20. Гонопольский, А. М. Анализ возможных путей интенсификации теплообмена частиц порошка с потоком плазмы при напылении / А. М. Гонопольский, О. Н. Зотова,

М. Э. Домнич // Прогрессивное оборудование и процессы газотермического напыления и резки : тр. ВНИИАВТОГЕНМАШ. – М., 1985. – С. 20 – 26.

21. Ильющенко, А. Ф. Влияние акустических колебаний на характеристики процесса плазменного напыления / А. Ф. Ильющенко, Г. П. Лизунков, В. Д. Шиманович // IX Всесоюз. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы : тез. докл. – Фрунзе : Илим, 1983. – С 292–293.

22. Мостинский, И. Л. Влияние пульсаций потока на тепломассообмен с частицами / И. Л. Мостинский, Д. И. Ламден, О. Г. Стоник // Теплофизика высоких температур. Изв. АН СССР. – 1983. – № 4. – С. 752 – 758.

23. Донской, А. В. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении / А. В. Донской, В. С. Клубникин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 221 с.

24. Пустовойтенко, А. И. К оценке влияния пульсаций параметров нагретого газа при струйной обработке порошков / А. И. Пустовойтенко, С. А. Панфилов, Ю. В. Цветков // Физика и химия обработки материалов. – 1980. – № 4. – С. 151–152.

25. Рыкалин, Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М. : Машгиз, 1951. – 296 с.

26. Оценка качества плазменных покрытий, нанесенных комбинированным методом с обкаткой роликом, полученная на основе компьютерного моделирования [Электронный ресурс] / А. М. Кадырметов, В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) . – Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2013. – № 03(87).

27. Захаров, О. В. Ультразвуковая обработка нежестко закрепленными инструментами : учеб. пособие / О. В. Захаров, Б. М. Бржозовский. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2002. – 101 с.

28. Соснин, Н. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 406 с.

М. Ю. Карелина, Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ), Москва, Россия, e-mail: sergey-lefmo@yandex.ru)

СВАРКА В УСЛОВИЯХ НАЛОЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Аннотация. Рассмотрен процесс полуавтоматической сварки в среде защитных газов при наложении колебаний ультразвуковой частоты на свариваемый элемент. Проанализированы механизмы формирования сварного шва и изменения его микроструктуры.

Ключевые слова: сварка, сварной шов, ультразвук, колебания, соединение.

M. Yu. Karelina, R. I. Nigmatzyanov, S. K. Sundukov, D. S. Fatyukhin
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia)

WELDING IN ULTRASONIC OSCILLATIONS IMPOSING

Abstract. The article discusses the process of semi-automatic welding in a protective gas environment when superimposed ultrasonic frequency oscillations on the element being welded. The mechanisms of the formation of the weld and changes in its microstructure are analyzed.

Keywords: welding, weld, ultrasound, vibrations, connection.

Сварка имеет широкое распространение в различных областях промышленности и применяется для создания неразъемных соединений, мелко- и крупногабаритных конструкций, восстановления деталей наплавкой и т.д. Учитывая повсеместное использование сварки, исследования, направленные на повышение свойств сварных соединений, актуальны и перспективны [1].

Основными проблемами, возникающими в процессе сварки, являются остаточные напряжения, возникновение пористости шва и сварочные деформации. Данные проблемы вызваны неравномерным нагревом и связанными с ним изменениями структуры металла шва и в зоне термического влияния [2, 3].

Одним из способов борьбы с рассмотренными проблемами является применение ультразвука.

В настоящее время широкое распространение получил метод ультразвукового ППД сварных швов, применяющийся для снижения шероховатости, создания упрочненного поверхностного слоя и создания сжимающих остаточных напряжений [4]. Данный способ относится к финишной обработке сварного соединения.

Для использования ультразвуковых колебаний непосредственно в процессе сварки применяются методы сообщения колебаний в сварочную ванну через электрод (плавящийся или неплавящийся) или через свариваемый элемент.

Способ передачи колебаний на электрод [5] заключается в том, что на него подаются импульсные колебания, на конце электрода формируется капля расплавленного металла,

которая вводится в контакт с расплавленным металлом, после чего ультразвуковые колебания отключаются, но при этом сохраняют связь между электродом и сварочной ванной. Далее процесс повторяется.

Способ наложения колебаний на конструкцию [6], разработанный для релаксации остаточных напряжений, основан на преобразовании гармонических колебаний в ударные импульсы ультразвуковой частоты с помощью набора подвижных ударников, размещенных между возбудителем и конструкцией. Здесь применяется конструкция, аналогичная ультразвуковому ППД свободными деформирующими элементами.

Данные методы, по сравнению с ультразвуковым ППД, не нашли широкого распространения, что связано с усложнением технологического процесса и использованием дополнительного ультразвукового оборудования. Тем не менее данные методы имеют перспективы, так как позволяют оказывать влияние, недоступное другим способам. Основные исследования с использованием рассматриваемых методов принадлежат зарубежным ученым [7 – 9].

Главным преимуществом методов введения колебаний в сварочную ванну является возможность обработки шва, находящегося в расплавленном состоянии, что позволяет воздействовать на формирование его структуры на макро-, микро- и субмикроуровне.

Эффективность введения ультразвуковых колебаний обуславливается возникающими в расплаве эффектами механической природы, к которым относятся кавитация, заключающаяся в образовании и схлопывании кавитационных пузырьков, переменное звуковое давление и акустические потоки. Данные первичные эффекты вызывают ряд вторичных: диспергирование, дегазация, ускорение химических реакций и др.

При воздействии на кристаллизующий металл ультразвуковые колебания приводят к следующим положительным эффектам:

- в результате интенсификации процесса дегазации происходит уменьшение пористости, снижение разбрызгивания металла, ускорение удаления раскислителей;
- под действием звукового давления и акустических течений происходит активное перемешивание компонентов расплава, обеспечивается равномерность их перемешивания по сварочной ванне;
- схлопывание кавитационных пузырьков приводит к образованию ударных волн и кумулятивных струек, которые диспергируют зародыши кристаллизации, в результате чего увеличивается их количество и скорость кристаллизации увеличивается.

Для проведения экспериментальных исследований выбран способ наложения колебаний на свариваемый элемент, так как он обеспечивает возможность осуществлять воздействие ультразвуковых колебаний в течение полного цикла сварки: от формирования ванны расплава до охлаждения полученного соединения.

Эксперимент проводился следующим образом: к пластине из стали Ст3 присоединялась двухполуволновая магнитострикционная колебательная система. В результате в пластине возбуждались колебания амплитудой до 5 мкм. После включения ультразвука на пластину методом полуавтоматической сварки наносились швы. В качестве защитного газа использовался CO_2 . Ультразвуковые колебания выключались после остывания

шва до 200 °С. Также подготовлена контрольная пластина без наложения колебаний. Далее из пластин вырезались образцы и подготавливались шлифы.

В результате анализа изменения геометрии определено увеличение ширины шва до 20%, глубина осталась неизменной.

В процессе исследований микроструктуры шва выявлено значительное измельчение структуры металла шва, уменьшение доли дендритов, отсутствие резкого перехода от металла шва к зоне термического влияния и уменьшение размера зерен в зоне перегрева. Данные изменения обеспечивают повышение физико-механических свойств сварного соединения.

Список использованных источников

1. Повышение эксплуатационных свойств сварных швов ультразвуковыми методами / Н. В. Бабченко, О. В. Селиверстова, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 1(36). – С. 44 – 49.

2. Технология конструкционных материалов : учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др. – М. : Машиностроение, 1977. – 440 с.

3. Improvement of operational properties of parts permanent joints with ultrasound technologies use / Prikhodko, V., Karelina, M., Sundukov, S., Sukhodolya, A., Moiseev, V. // Journal of Physics : Conference Series 1353(1), 012081.

4. Разработка ультразвукового оборудования нового поколения для получения и обработки деталей и узлов транспортного машиностроения / В. М. Приходько, В. Ф. Казанцев, Б. А. Кудряшов и др. // МАДИ (ГТУ). – М., 2007. – 136 с.

5. Пат. 946841 СССР, М. Кл. 5 В 23 К 9/14. Способ ручной электродуговой сварки / Статников Е. Ш., Федоров В. Ю., Киямов Р. Н., Петриди Н. И., Снятков Е. И. – 2998525/25-27 ; заявл. 27.08.80 ; опубл. 30.07.82, Бюл. № 28 ; приоритет 05.08.82. – 3 с.

6. Пат. 931236 СССР, М. Кл. 3 В 06 В 3/00. Способ возбуждения высокочастотных упругих колебаний в конструкциях / Статников Е. Ш., Сенюков В. Л. – 2932620/18-10 ; заявл. 23.05.80 ; опубл. 30.05.82, Бюл. № 20 ; приоритет 10.06.82. – 3 с.

7. Wen, L. D. Effects of high-intensity ultrasonic-wave emission on the weldability of aluminum alloy 7075-T6 // Materials Letters, 57. – 2003.

8. Dong, H. et al. Improving arc joining of Al to steel and Al to stainless steel // Materials Science and Engineering : A. V. – 2012. – 534. – P. 424 – 435.

9. Cui Y., Xu C. L., Han Q. Effect of ultrasonic vibration on unmixed zone formation // Scripta Materialia. – 2006. – V. 55. – P. 975 – 978.

УДК 621.4.002.3

Г. М. Ахмадиев

(Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, Набережные Челны, Россия,
e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru)

АДДИТИВНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ОСАЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Аддитивное изготовление деталей методом прямого осаждения материала на основе электромагнитного поля включает прямое осаждение потока гранул порошка металла или неметалла из накопительной емкости в ванну расплава на опорном столе для формирования детали, наплавляемой посредством тепловой энергии лазерного или электронного источника нагрева, и кристаллизацию расплава с обеспечением формирования детали. Осаждение гранул порошка ведут под действием сил тяжести и электромагнитных сил с обеспечением приобретения ими положительного или отрицательного заряда в полете. При этом управляют траекторией и скоростью движения гранул порошка в полете посредством электромагнитного поля в соответствии с заданной программой.

Ключевые слова: способ, устройство, аддитивное изготовление, деталь, метод прямого осаждения материала, электромагнитное поле.

G. M. Akhmadiev

(Naberezhnye Chelny Institute (branch) K(P)FU, Naberezhnye Chelny, Russia)

ADDITIVE PRODUCTION OF PARTS BY THE METHOD OF DIRECT DEPOSITION OF MATERIAL BASED ON AN ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract. Additive manufacturing of parts by direct deposition of a material based on an electromagnetic field includes the direct deposition of a stream of granules of metal or non-metal powder from a storage tank into a molten bath on a support table to form a part fused by thermal energy from a laser or electronic heating source and crystallization of the melt to ensure forming parts. The precipitation of the granules of the powder is carried out under the action of gravity and electromagnetic forces to ensure that they acquire a positive or negative charge in flight. At the same time, the trajectory and speed of the powder granules in flight are controlled by means of an electromagnetic field in accordance with a given program.

Keywords: method, device, additive manufacturing, detail, direct deposition of material, electromagnetic field.

Введение. В настоящее время известно селективное лазерное или электронно-лучевое спекание (Selective Laser Sintering, SLS) или (Electron Beam Melting, EBM), где объект формируется из плавкого порошкового материала (пластик, металл, керамика) путем его плавления под действием лазерного или электронного излучения [1].

Авторами описаны преимущества селективного спекания, существует много проблем, связанных с получением требуемых свойств деталей. [2]. Данные многих научно-исследовательских работ показывают низкую технологическую прочность выращиваемых деталей, особенно на основе никеля. Это трещинообразование, порообразование и наличие дефектов, которые связаны с особенностями разрушения наплавленных слоев при охлаждении металла.

На данный момент времени по схеме прямого осаждения освоен способ, где одновременно через сопло или из отдельного сопла подается порошковый материал и лазерное излучение, при этом деталь или сопло могут перемещаться 3D-принтером.

При всех достоинствах этого варианта исполнения имеются определенные недостатки, основным из которых является подача материала в ванну расплава через сопло за счет газового потока. По этой причине количество порошка в зону расплава поступает с избытком, где часть порошка сплавляется с расплавом, а часть отскакивает в сторону. Материал направляется в ванну расплава без возможности точной регулировки количества поставляемого порошка, его скорости, направления траектории каждой гранулы, температуры, а также обеспечения сортировки порошка по химическому составу и по величине гранул [3].

Целью настоящей работы является анализ эффективности использования и расширение технических возможностей за счет снижения капиталовложений энергозатрат, сокращения производственного цикла, уменьшения габаритов оборудования, увеличения точности и скорости поступления материала на изготовление детали с регулировкой его количества, температуры, траектории, фракции и повышения прочности детали, созданной аддитивным методом. Данные преимущества достигаются за счет применения электромагнитных полей, используемых для управления в пространстве лучом и веществом, которые формируют деталь [6].

Для более точного построения деталей с меньшим расходом энергии и материала необходимо пересмотреть механизм осаждения, где в качестве несущей и регулирующей среды будет не газ, направляемый соплом, а электромагнитное поле, управляющее скоростью и траекторией движения гранулы в вакууме.

Предлагаемый способ по осаждению вещества может производиться на воздухе или в любом газе, но наиболее целесообразно использовать вакуум, который не оказывает механического воздействия на траекторию вещества.

Использование вместо лазера электронного луча позволяет увеличить точность и скорость наплавления ванны расплава, при этом управление траекторией электронов и траекторий гранул будет осуществляться за счет электромагнитного поля в вакууме.

В качестве механизма воздействия на траекторию гранулы целесообразно использовать электромагнитное поле, которое используется для изменения траектории в пространстве электронного луча.

Механизм управления материалом и лучом раскрывается на основе электродинамики [4]. Метод предложен в 1923 г. Отто Муком (Германия).

Используя силы взаимодействия индуцированного в металле тока с вызвавшим его электромагнитным полем, можно поднять металл над индуктором и таким образом осуществлять нагрев и плавку металла во взвешенном состоянии.

В ходе эксперимента авторами, для того чтобы порошок металла перемещать, его освещали ультрафиолетовым светом, чтобы порошок приобрел положительный или отрицательный заряд [5].

Предлагаемое автором [6] устройство для аддитивного изготовления деталей содержит лазерный или электронно-лучевой источник нагрева, накопительную емкость для гранул порошка металла или неметалла, установленные в камере опорный стол для формирования детали и датчики слежения, соединенные через коммутатор с компьютером. Устройство содержит связанный с накопительной емкостью распределитель для направления гранул порошка в наплавляемую упомянутым источником нагрева ванну расплава на упомянутом опорном столе, индукционные электромагнитные катушки, установленные на распределителе с возможностью управления траекторией движения гранул порошка в распределителе. Электромагнитные устройства, установленные с возможностью управления траекторией и скоростью движения гранул порошка в полете от распределителя к ванне расплава на упомянутом опорном столе и обеспечения в полете положительного или отрицательного заряда гранул порошка. При этом накопительная емкость снабжена шнеком, скорость вращения которого регулирует объем и скорость подачи потока гранул, датчики слежения выполнены с возможностью отслеживания координат траектории движения гранул в потоке с заданной частотой. А опорный стол выполнен с возможностью вращения и перемещения вдоль оси вращения, причем электромагнитные устройства и шнек накопительной емкости выполнены с возможностью управления по заданной программе после обработки компьютером сигналов датчиков слежения [6].

Таким образом, автор технического решения считает, что данное устройство, особенно эффективно при создании нового аддитивного оборудования, использующего метод одновременного управления лучом и веществом за счет электромагнитного поля. При необходимости можно применять наклон детали в пространстве или наклон оси вращения детали.

Список использованных источников

1. Довбыш, В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс] / В. М. Довбыш, П. М. Забеднов, М. А. Зеленко. – URL : http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall

2. Кулиш, А. М. Использование аддитивных технологий для получения деталей машиностроения / А. М. Кулиш // Студенческая научная весна, 2015: Машиностроительные технологии : Всерос. науч.-техн. конф. студентов.

3. Григорьянц, А. Г. Возможности и перспективы применения лазерной наплавки / А. Г. Григорьянц, А. М. Мисюров // Технология машиностроения. – 2005. – № 10. – С. 52 – 56.

4. Фогель, А. А. Индукционный метод удерживания жидких металлов во взвешенном состоянии / А. А. Фогель ; под ред. А. Н. Шамова – 2-е изд., испр. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1989. – С. 167; 174 – 181.

5. Кабардин, О. Ф. Физика: Справ. Материалы : учеб. пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. – 4-е изд. – М. : Просвещение : АО «Учеб. лит.», 1996. – С. 3; 5 – 11.

6. Пат. на изобретение № 2 627 527. Способ и устройство аддитивного изготовления деталей методом прямого осаждения материала, управляемого в электромагнитном поле / Волков А. Е. ; заявл. 30.03.2017, Бюл. № 10 ; опубл. 08.08.2017, Бюл. № 22.

В. А. Воронов, А. Н. Семенов

(Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П. А. Соловьева, Рыбинск, Россия,
e-mail: voronov_vladislav@icloud.com, e-mail: semenov.an@mail.ru)

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Аннотация. Рассмотрена возможность перехода машиностроительного производства на использование аддитивных технологий для изготовления ответственных деталей ГТД в целях повышения эффективности изготовления и их эксплуатационных свойств.

Приведена первоначальная методика по оценке отбора деталей для получения аддитивным способом взамен традиционному способу. Представленная формула поможет ускорить процесс отбора деталей при перепроектировании для последующей более глубокой проработки с последующим изготовлением.

Ключевые слова: оптимизация, топология, аддитивные технологии, крепежный элемент, коэффициент аддитивности.

V. A. Voronov, A. N. Semenov

(P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk, Russia)

EVALUATION OF THE EXPEDIBILITY OF USING ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF GTE DETAILS

Abstract. The initial methodology for assessing the selection of parts to obtain an additive method instead of the traditional method is considered. The presented formula will help to speed up the process of selecting parts during redesign, for subsequent deeper study with subsequent manufacture.

Keywords: optimization, topology, additive technologies, fastener, coefficient of additivity.

В настоящее время ведущие двигателестроительные компании активно развивают и используют аддитивные технологии (АТ) для изготовления многих деталей газотурбинных двигателей (ГТД), которые существенно повышают конкурентоспособность этих изделий за счет повышения эффективности производства. В частности, актуальным является использование АТ для повышения технологичности и уменьшения массогабаритных характеристик крепежных элементов ГТД, что требует оптимизации проектирования деталей под использование данной технологии.

Проектирование деталей сегодня невозможно без использования современных САД (Computer-Aided Design)-, САЕ (Computer-Aided Engineering)-, CAO (Computer-Aided Optimization)-систем, а также САМ (Computer-Aided Manufacturing)-системы. САД-системы позволяют построить пространственную геометрическую модель объекта практически любой сложности. САЕ-системы позволяют моделировать поведение конструкции при воздействии статических и динамических нагрузок различной природы и во многих случаях отказаться от использования упрощенных инженерных методик. CAO-системы,

использующие лучшие достижения в области методов оптимизации, позволяют подобрать оптимальные параметры конструкций для улучшения их эксплуатационных характеристик. В этом контексте важнейшую роль начинает играть не только наличие на предприятиях программных средств, реализующих те или иные оптимизационные алгоритмы, а в первую очередь, организация процесса проектирования, включающая методические и программные средства, позволяющие выстроить оптимальный для предприятия процесс проектирования с помощью вышеперечисленных систем [1].

Сегодня традиционным подходом к использованию CAD/CAE/CAO-систем на российских предприятиях является отражаемая на рис. 1 схема.

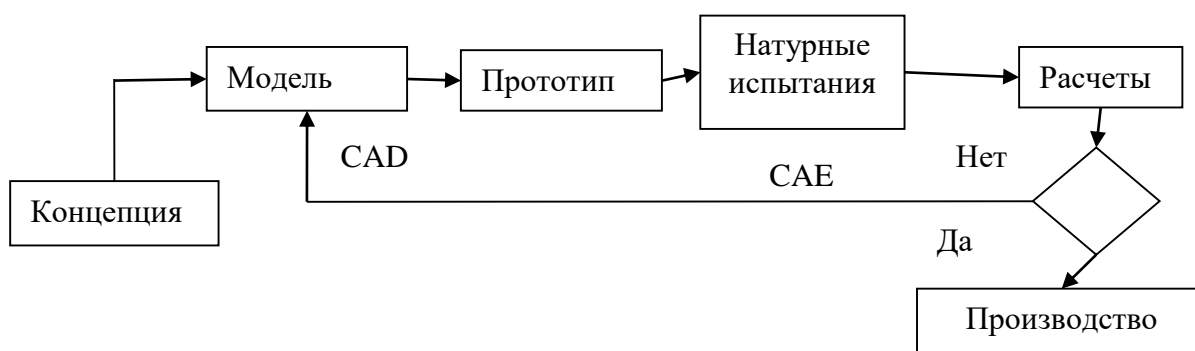


Рис. 1. Традиционный подход к проектированию конструкций деталей для АТ

В соответствии с ней при моделировании детали инженер-конструктор, полагаясь на свой опыт и исходя из предполагаемых нагрузок и ограничений, проектирует конструкцию будущей детали. Далее, знания и опыт аккумулируются в CAD-модель и после нескольких проработок появляется прототип изделия. Этот прототип подвергается натурным испытаниям. Параллельно создается расчетная CAE-модель, которую можно верифицировать путем сравнения с результатами натурных испытаний и в дальнейшем использовать для проверки тех случаев нагрузки, которые нельзя воспроизвести в натурных испытаниях. В случае несоответствия технологическим или по другим соображениям модель вместе с рекомендациями по доработке возвращается конструктору. Очевидно, что в традиционном подходе основную роль играет опыт и интуиция специалистов конструкторского профиля.

Альтернативным вариантом является проектирование на основе математического моделирования и оптимизации конструкции (Simulation Optimization Driven Design), с помощью которого более полноценно будут использованы вычислительные средства (рис. 2).

Данный подход предполагает, что инженер-конструктор работает только с компоновочным объемом и требуемыми характеристиками изделия. С помощью технологий CAE/CAO/CAD получается компьютерная модель изделия, удовлетворяющая заданным эксплуатационным и технологическим ограничениям. Отличие данного подхода в том, что для проектирования будущего изделия используется не только традиционный опыт инженера-конструктора, но и оптимизационные технологии – топологическая оптимизация.

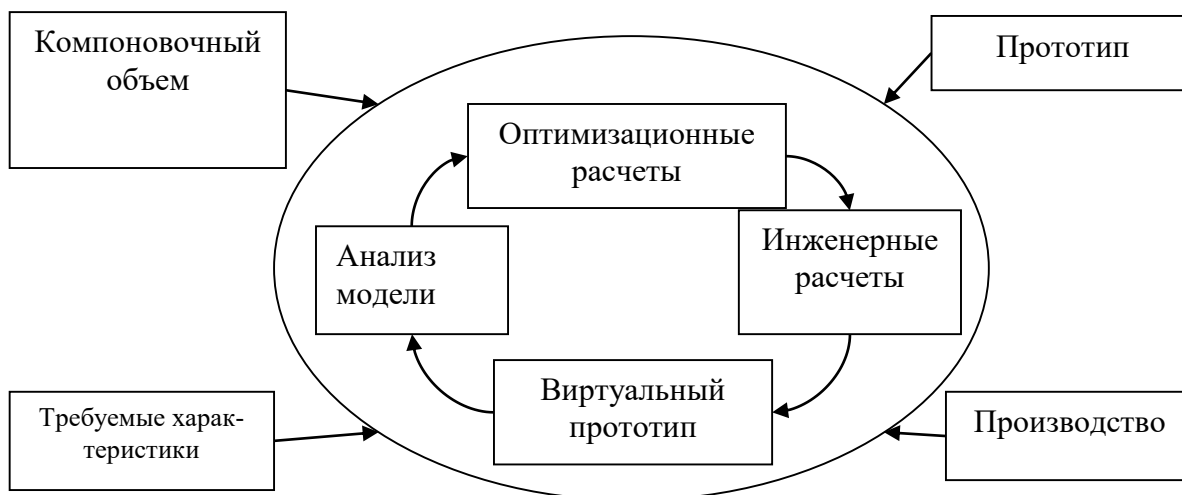


Рис. 2. Оптимизационный подход к проектированию деталей для АТ

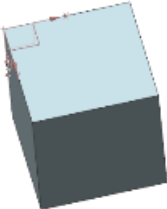
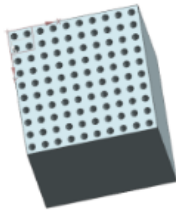
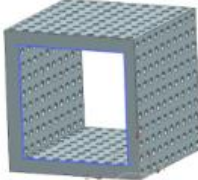
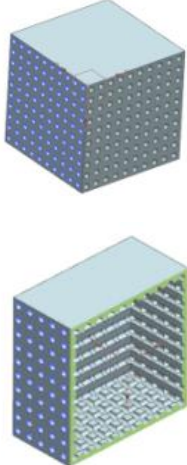
При проектировании или перепроектировании деталей под АТ необходимо на ранних стадиях делать первоначальную оценку целесообразности использования данного метода, для чего необходимо разработать алгоритм, позволяющий существенно сократить время от проектирования детали до ее изготовления. Для первоначальной оценки достаточно знать размеры детали, материал, требования к детали, объем выпуска деталей с тем, чтобы, объединив вышеуказанную информацию, разработать критерий, с помощью которого можно определить целесообразность использования АТ – коэффициент аддитивности детали (K_a). Для его разработки необходимо также учитывать максимальные размеры рабочего пространства установки (например, EOS M404-4 имеет область построения 400×400×400 мм) [2], тем самым отфильтровывая детали, габариты которых превышают габариты построения. Анализ элементарной геометрической фигуры куба, отражающей пространство рабочей зоны, выявил возможность оценки сложности геометрии детали коэффициентом C , определяемым отношением объема (массы) заготовки, вписанной в эту геометрическую фигуру, к ее объему (массе) (табл. 1).

Из приведенного анализа кубической фигуры можно сделать вывод, что геометрическая сложность детали увеличивается, когда отношение массы (объема) вписанной заготовки к массе (объему) геометрической фигуры изменяется в большую сторону. Для повышения корректности оценки аддитивной технологичности можно ввести ряд дополнительных показателей, которые влияют на целесообразность применения АТ:

$$K_a = \frac{G_3 K_{cp} K_{сн.м}}{G_d K_{кол} K_{бр}},$$

где G_3 – масса заготовки; G_d – масса детали; $K_{сн.м}$ – коэффициент снижения массы (от 1 до 10 при снижении на 10...50% от первоначального веса детали); $K_{кол}$ – коэффициент количества планируемых деталей к выпуску (от 1 до 10, если выпуск от 1 до 100 шт. и более); $K_{бр}$ – коэффициент учета бракованных деталей, изготовленных традиционным способом (от 1 до 10, если брак деталей до 4% или свыше 10%).

1. Примеры роста геометрической сложности детали кубической формы

Данные	Информация	Геометрия
<p>Размер 100×100×100 мм 0 отверстий</p>	<p>Объем $1\,000\,000\text{ мм}^3 = 1\text{ дм}^3$ Площадь $60\,000\text{ мм}^2 = 6\text{ дм}^2$ Масса = 4,42 кг (ВТ-6) $C = 4,42/4,42 = 1$</p>	<p>Массивный куб</p> 
<p>Размер 100×100×100 мм 200 отверстий (диаметр 5мм)</p>	<p>Объем = $0,83\text{ дм}^3$ Площадь = $21,31\text{ дм}^2$ Масса = 3,55кг (ВТ-6) $C = 4,42/3,55 = 1,31$</p>	<p>Куб с отверстиями</p> 
<p>Размер 100×100×100 мм 400 отверстий (диаметр 5мм)</p>	<p>Объем = $0,24\text{ дм}^3$ Площадь = $14,18\text{ дм}^2$ Масса = 1,08 кг $C = 4,42/1,08 = 4,08$</p>	<p>Полый куб</p> 
<p>Размер 100×100×100 мм 400 отверстий (диаметр 5мм)</p>	<p>Объем = $0,18\text{ дм}^3$ Площадь = $13,11\text{ дм}^2$ Масса = 0,83 кг $C = 4,42/0,83 = 5,32$</p>	<p>Закрытый полый куб</p> 

В качестве иллюстрации предлагаемого подхода можно рассмотреть процесс оптимизации конструкции кронштейна крепления агрегата ГТД, представленный на рис. 3.

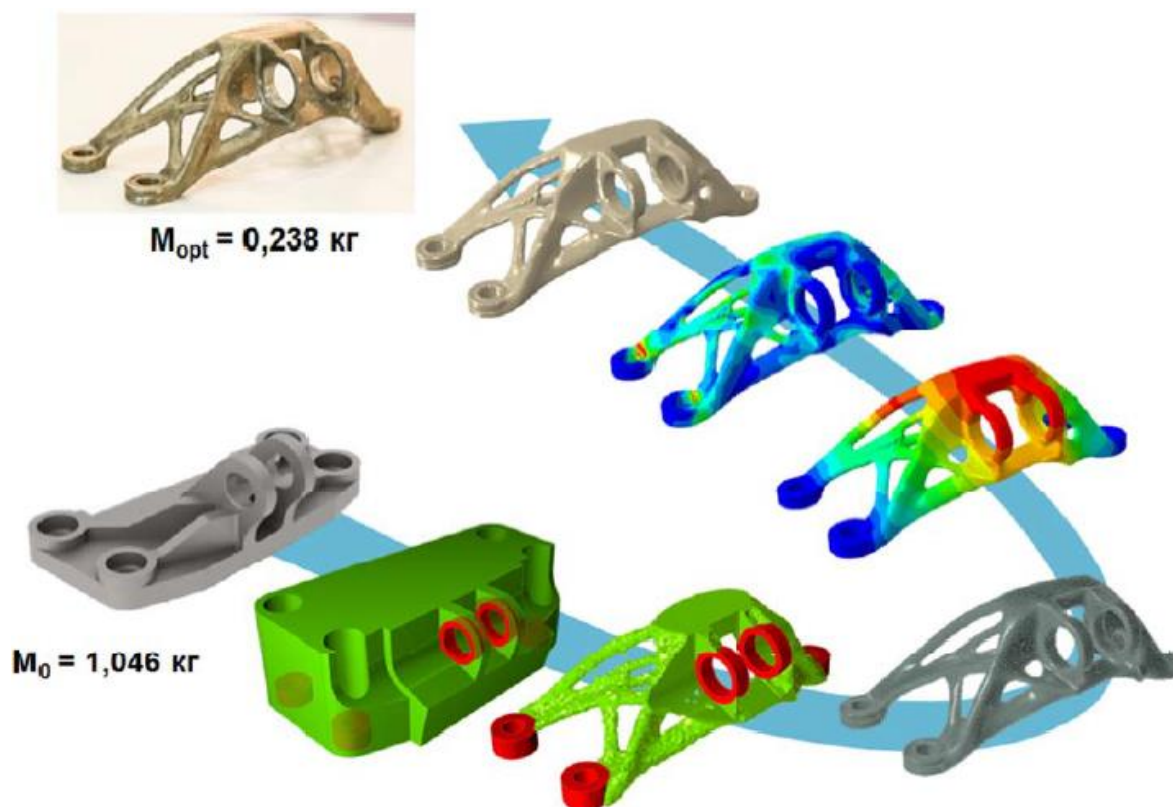


Рис. 3. Топологическая оптимизация кронштейна

Таким образом, предварительная оценка конструкции деталей для определения возможности их изготовления АТ является важным этапом, так как при правильном подходе к проработке конструкции можно добиться существенного выигрыша в массе без потери эксплуатационных свойств.

Список использованных источников

1. Боровков, А. И. Компьютерный инжиниринг : учебное пособие / А. И. Боровков. – СПб. : Изд-во СПбПУ, 2012. – 93 с.
2. 3D Systems [Электронный ресурс] // <https://www.3dsystems.com>: [сайт]. – URL : <https://www.3dsystems.com/3d-printers> (дата обращения: 14.06.2020).

С. А. Чижик¹, М. Л. Хейфец², Н. Л. Грецкий³

¹Институт тепло- и массообмена им А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: chizhik_sa@tut.by;

²Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: mlk-z@mail.ru;

³ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: nikolay_gnl@mail.ru)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Показано, как при проектировании технологического оборудования, использующего концентрированные и распределенные потоки энергии для нового аддитивного и традиционного субтрактивного производства, применяются известные методы и схемы формообразования деталей и модифицирования материалов, а также новые методы и схемы автоматизации и компьютерного управления процессами производства изделий.

Ключевые слова: технологическое оборудование, концентрированные и распределенные потоки энергии, аддитивное и субтрактивное производство.

S. A. Chizhik¹, M. L. Kheifetz², N. L. Gretskiy³

¹A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer NAS of Belarus, Minsk, Belarus;

²Institute of Applied Physics NAS of Belarus, Minsk, Belarus;

³Open Joint Stock Company “NPO Center” NAS of Belarus, Minsk, Belarus)

DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USING CONCENTRATED AND DISTRIBUTED ENERGY FLOWS

Abstract. It is shown how, when designing technological equipment using concentrated and distributed energy flows for a new additive and traditional subtractive production, known methods and schemes for shaping parts and modifying materials are used, as well as new methods and schemes for automation and computer control of product manufacturing processes.

Keywords: technological equipment, concentrated and distributed energy flows, additive and subtractive production.

Введение. При проектировании технологического оборудования как для традиционного субтрактивного, так и нового аддитивного производства, применяются как широко известные [1, 2], так и новые методы и схемы формообразования деталей и модифицирования свойств материалов [3 – 6].

Методы и схемы проектирования технологического станочного оборудования механической обработки. Традиционно исходные данные для проектирования технологического оборудования содержат техническое задание конкретного заказчика, включающее [1, 2]:

1. Данные о материалах и готовых изделиях.
2. Производительность оборудования, характер и тип производства.
3. Уровень автоматизации и встраиваемость в современное производство.

Последовательность расчета технологического оборудования для традиционного производства включает укрупненные стадии:

1. Компоновка (выбор кинематической схемы).
2. Модульное построение (ограничительный набор агрегатов и узлов).
3. Расчеты статических упругих перемещений (выбор схемы и прочностные расчеты).
4. Динамические расчеты устойчивости движений системы и статических отклонений элементов (выбор схемы и динамические расчеты).
5. Тепловые расчеты (выбор термодинамической схемы и расчет температур).
6. Точностные расчеты (определение точности геометрических и кинематических связей с учетом деформации).
7. Расчеты надежности (определение надежности агрегатов и узлов, экономическое обоснование надежности).
8. Анализ человеко-машинной системы (охрана труда и техника безопасности).

Далее по стадиям производится расчет основных систем технологического оборудования:

- 1) несущих систем;
- 2) направляющих движений;
- 3) приводов движений и других.

Проектирование и расчет основных систем технологического оборудования производится по техническим требованиям к механическим агрегатам, технологической оснастке и средствам автоматизации; системам смазки, электрооборудованию и программируемым системам; системам диагностики, с учетом техники безопасности, эргономики и технологичности станка.

Для этого в первую очередь строятся схемы (согласно нумерации стадий): кинематическая (1), прочностная (3), динамическая (4), термодинамическая (5), контакта и трения (6), изнашивания и надежности (7). Построение ведется как с учетом ограничительного набора агрегатов и узлов – по модулям (2), так и на базе анализа человеко-машинной системы (8) в целом.

Однако при проектировании технологического оборудования, использующего концентрированные и распределенные потоки энергии в автоматизированном производстве, этих стадий и соответствующих им схем недостаточно. Связано это с тем, что для

традиционного субтрактивного и нового аддитивного производства, заключающегося в послойном наращивании поверхности изделий, требуется дополнительно рассматривать схемы и выделять модули технологического оборудования, описывающие подвод материала и энергии [3 – 6].

Особенности проектирования технологического оборудования, использующего концентрированные и распределенные потоки энергии. Создание формы изделия в аддитивных технологиях происходит путем добавления материала, с использованием концентрированных источников энергии и распределенных полей, в отличие от традиционных технологий механической обработки, основанных на удалении «лишнего» материала. Широко применяемые в мировом производстве технологии позволяют заключить, что наиболее перспективно применение оборудования по наращиванию слоев и формообразованию поверхностей изделий, использующего различные сочетания материалов и источников энергии. Это в свою очередь ставит задачи распределения компонентов материалов и потоков энергии не только по заданному контуру или поверхности, но и по глубине от поверхности изделия, а также по характеру импульсов подачи энергии и материала [3 – 6].

Если рассматривать технологическое оборудование с позиций компьютеризации производственной деятельности, то такое оборудование, его узлы и детали следует проектировать как устройства компьютерной периферии, построенные по той же архитектуре, что и ЭВМ. Поэтому требуется также изучать схемы числового программного управления с учетом контуров прямых и обратных связей в технологической системе, рассматривая комплекс технологического оборудования как мехатронную систему.

Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (использующую компьютеры и микропроцессоры) части. В нее входят: датчики состояния как внешней среды, так и самой системы управления; источники энергии; исполнительные механизмы; усилители; вычислительные элементы (компьютеры и микропроцессоры). Мехатронная система представляет собой единый комплекс электромеханических и электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется непрерывный обмен энергией и информацией.

Проектирование технологических комплексов мехатронного оборудования. Функционально простую мехатронную систему технологического комплекса (ТК) можно подразделить на следующие составные части: исполнительные устройства (объект управления и приводы), информационные устройства (датчики внутреннего состояния системы и датчики состояния внешней среды) и систему управления (компьютер и микропроцессоры) (рис. 1). Взаимодействие между этими частями, реализующее прямые и обратные связи в системе, осуществляется через устройство сопряжения (интерфейс).

Система управления включает аппаратные средства и программное обеспечение, которое управляет согласованной работой аппаратных средств и обеспечивает синхронизацию процессов сбора и обработки данных, поступающих от информационных

устройств, с процессами, управляющими исполнительными устройствами. В результате мехатронный производственный модуль комбинированной обработки конструктивно подразделяется на электрическую и механическую составляющие, а также систему управления [3 – 6].

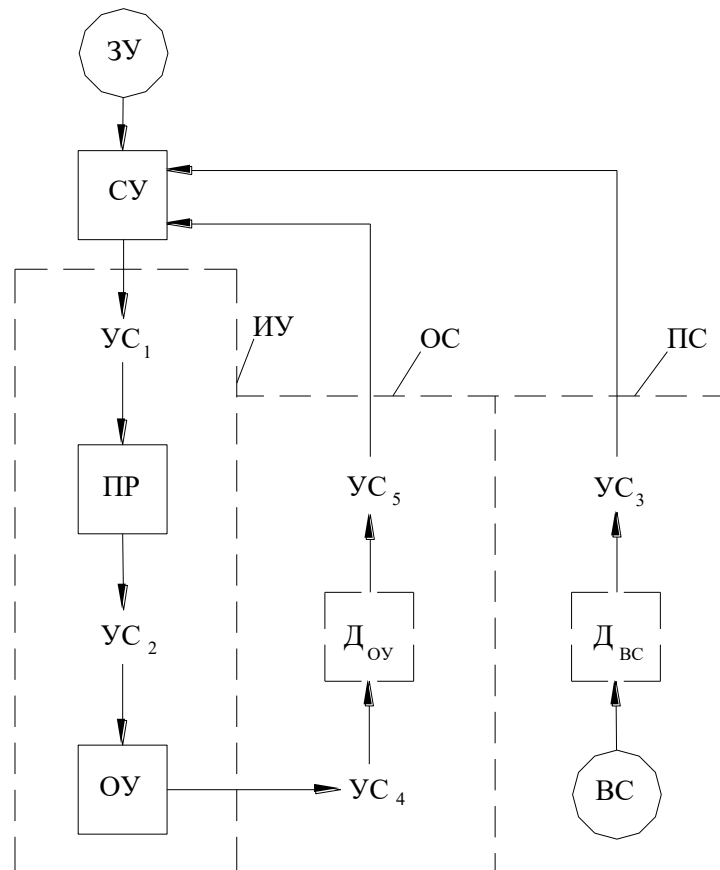


Рис. 1. Составные части мехатронной системы ТК:

ИУ – исполнительные устройства; ОС – обратная связь; ПС – прямая связь;
 ЗУ – задание на управление; СУ – система управления;
 УС – устройство сопряжения; ПР – приводы; ОУ – объект управления;
 Д_{оу} – датчики состояния объекта управления;
 Д_{вс} – датчики состояния внешней среды; ВС – внешняя среда

Обобщенная схема производственного модуля ТК (рис. 2) должна содержать все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программного обеспечения.

Гибкость функционирования мехатронной системы обеспечивается применением универсальных рабочих органов (инструментов и источников энергии), способных выполнять различные операции, или изменением модулей сменного инструмента, которые выбираются системой управления в соответствии с выполняемыми операциями, или управлением источниками энергии. В таких системах заранее определить число и вид необходимых исполнительных устройств и датчиков невозможно.

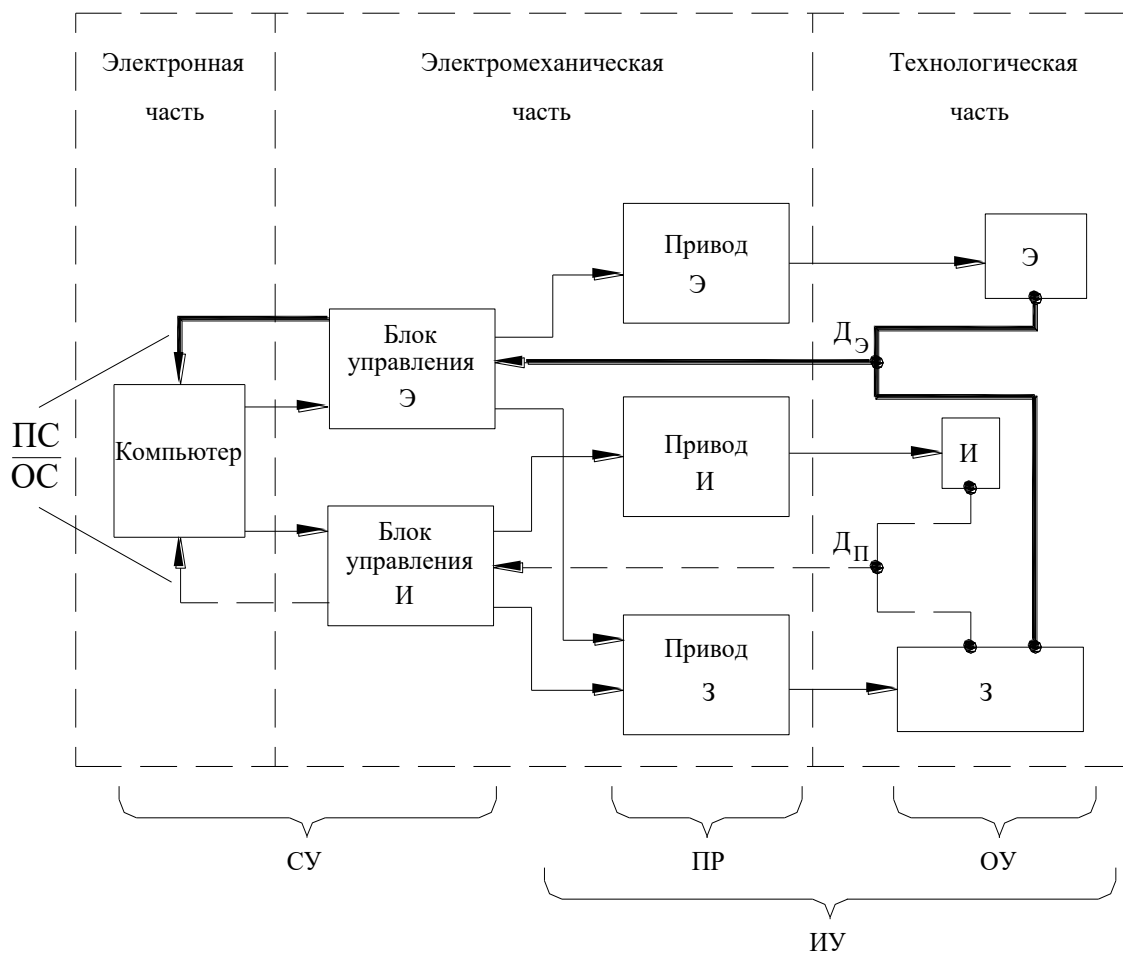


Рис. 2. Структурная схема мехатронной системы:

З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный источник энергии;
 Дп – датчик перемещений; Дэ – датчик интенсивности потока энергии;
 СУ – система управления; ПР – приводы; ОУ – объект управления;
 ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

Возникает необходимость решить две задачи:

- 1) обработать и систематизировать информацию, поступающую с датчиков;
- 2) обеспечить синхронизацию между этой информацией и движением исполнительных устройств. Это достигается программным обеспечением, управляющим работой соответствующих вычислительных средств.

Следовательно, важную роль в обеспечении многофункциональной работы мехатронной системы играют алгоритмические и программные средства. В результате структурная схема любого гибкого производственного модуля, использующего концентрированные источники энергии, должна иметь рассмотренные элементы, чтобы обеспечить модулю длительное время устойчивой работы в автономном режиме, используя минимальное количество управляющих воздействий от пространственно удаленных подразделений виртуального предприятия [3 – 6].

Заключение. Таким образом, при проектировании технологического оборудования для традиционного субтрактивного и нового аддитивного производства применяются как методы и схемы формообразования деталей из композиционных материалов, построенные на использовании потоков энергии и компонентов материала, так методы и схемы автоматизации и компьютерного управления процессами производства изделий.

Список использованных источников

1. Машиностроение: Энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.). Т. IV-7. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование / Б. И. Черпаков и др. ; под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Машиностроение, 2002. – 864 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справочник-учебник. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Проников и др. ; под ред. А. С. Проникова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана – Машиностроение, 1994. – 444 с.
3. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий и др. ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 239 с.
4. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий и др. ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 316 с.
5. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А. М. Русецкий и др. ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 375 с.
6. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С. А. Чижик и др. ; под общ. ред. М. Л. Хейфеца. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 248 с.

ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРО-ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

УДК 534-8

С. С. Юхневич^{1,2}, О. Н. Кириллов¹, В. П. Смоленцев¹, Е. В. Котуков¹
(¹Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия;
²АО «Конструкторское бюро химавтоматики», Воронеж, Россия)

ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Рассмотрены оборудование, средства технологического оснащения для прессования и комбинированной обработки материалов с анизотропными свойствами. Приведены полученные в результате исследований патенты на способы и устройства, которые позволяют расширить возможности электроэрозионной и комбинированной обработки электродом-проводкой высокоточных деталей из прессованных материалов.

Ключевые слова: комбинированная обработка, прессованные материалы, анизотропная проводимость, пресс, электропечь, технологическая оснастка, патент, оборудование.

S. S. Yukhnevich^{1,2}, O. N. Kirillov¹, V. P. Smolentsev¹, E. V. Katukov¹
(¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia;
²Design Bureau of Chemical Automation, Voronezh, Russia)

EQUIPMENT AND MEANS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR PRESSING AND COMBINED PROCESSING OF PRODUCTS MADE OF POWDER MATERIALS

Abstract. equipment and technological equipment for pressing and combined processing of materials with anisotropic properties are Considered. Patents for methods and devices obtained as a result of research that allow expanding the possibilities of electroerosive and combined processing of high-precision parts made of pressed materials with an electrode-wire are presented.

Keywords: combined processing, pressed materials, anisotropic conductivity, press, electric furnace, technological equipment, patent, equipment.

В ВГТУ и АО КБХА проводятся исследовательские работы по изучению комбинированной обработки прессованных материалов [1].

Для выбора экспериментального и промышленного оборудования для прессования материалов была проведена модернизация прессы (рис. 1, а) и электрической печи (рис. 1, б), где были установлены более точные, современные средства управления процессом и регистрации полученных в ходе исследований параметров.



а)



б)

Рис. 1. Применяемое оборудование для получения прессованных заготовок:

а – специальный пресс; б – электрическая печь СГВ-2,4-2/М5ИЗ

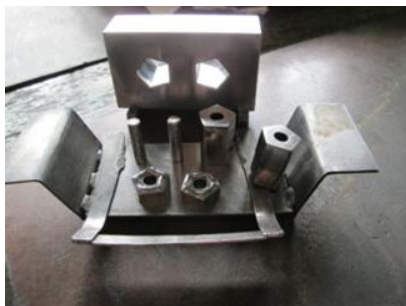
В таблице 1 приведены основные технические характеристики колпаковой вакуумной электрической печи СГВ-2,4-2/М5ИЗ.

1. Технические характеристики электрической печи

Наименование параметра	Показатель
Установленная мощность, кВт	25
Номинальная мощность нагревательной камеры, кВт	19,5
Мощность холодного хода, кВт	15 ^{+1,5}
Температура рабочего пространства, °С	1500
Равномерность распределения температуры без загрузки по высоте рабочего пространства в диапазоне, °С	±10
Стабильность поддержания температуры при управлении нагревом системой автоматического регулирования, °С	±5

Наименование параметра	Показатель
Размеры рабочего пространства, мм (по колпаку) – диаметр – высота	200 ⁺² 400 ⁺⁴
Масса посадки, кг	25 ^{±0,5}
Предельное остаточное давление в холодном состоянии электрической печи, Па	6,65·10 ⁻³
Среда в рабочем пространстве	Вакуум
Напряжение питающей сети, В	380/220
Частота тока, Гц	50
Частота фаз нагревателя	3

Для проведения исследований было спроектировано и изготовлено специальное технологическое оснащение, позволяющее принять во внимание конструктивные особенности изготавливаемых образцов. Элементы технологического оснащения для высокопроизводительного и точного прессования многогранников, вставок, зубчатых колес представлены на рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 2. Технологическое оснащение для прессования:
а – многогранников; б – зубчатых колес; в – вставок

При обработке с наложением электрического поля прессованных деталей, характеризующихся наличием анизотропных свойств, применялись специальные высокопроизводительные станки: станок копировально-прошивочный для эрозионно-химической обработки; модернизированный на базе станка 4572 с непрофилированным электродом-проволокой; проволочно-вырезной станок ONA AX3. Станки представлены на рис. 3.



а)



б)



в)

Рис. 3. Станки для электрических методов обработки с регистрирующей аппаратурой:

а – станок копировально-прошивочный для эрозионно-химической обработки;

б – модернизированный на базе станка 4572 с непрофилированным электродом-проволокой;

в – станок проволочно-вырезной ONA AX3

По результатам исследования комбинированной обработки изделий из прессованных материалов в ВГТУ и АО КБХА разработаны новые устройства и способы обработки, на которые получены патенты.

Так, в целях стабилизации комбинированной обработки разработан новый способ и устройство для его осуществления по патенту [2]. Это дало возможность увеличить точность и воспроизводимость получаемых результатов, уменьшить число опытов и снизить затраты на проводимые эксперименты. Способ обработки подразумевает применение шаблона из диэлектрической и водопроницаемой основы с маркируемыми знаками из токопроводящего материала, нанесенного на нее контуром. Способ обработки отличается тем, что шаблон с диэлектрической основой помещают на поверхность изделия, а к контурам маркируемых знаков прикладывают катод. Одновременно через пространство между основой и катодом производят под давлением импульсную подачу электролита. Назначают высокую скорость прокачки электролита до наступления эжекции из-под основы, при этом время цикла подачи электролита в импульсе подбирают равным времени цикла паузы. Устройство включает шаблон из основы, с нанесенным контуром маркируемых знаков из токопроводящего материала, регулятор расхода электролита, катод и блок управления подачей электролита. Устройство отличается тем, что катод изготовлен в виде игольчатой металлической щетки. Иглы щетки имеют длину как минимум величины межэлектродного зазора и как максимум не более расстояния от катода до шаблона. Сами иглы щетки изготовлены таким образом, чтобы был контакт с зоной обработки.

Применение разработанных способа и устройства дает возможность исключить погрешности электрохимической составляющей при исследовании комбинированного процесса обработки.

В патенте [3] изучен механизм эрозионно-химико-механической высокоточной обработки сопрягаемых поверхностей изделий. Обработка сопрягаемых поверхностей производится шибером, включает использование переменного тока в среде воздуха в виде низковольтных импульсов с возвратно-поступательным перемещением шибера относительно щек и их вибрацией по отношению к шиберу. Здесь самые большие амплитуды импульсов тока сочетают с моментом сближения сопрягаемых поверхностей и производят обработку до достижения устойчивой величины тока. Устройство, находящееся между щеками шибера, имеет привод для перемещения шибера между щеками, подпружиненными упругими элементами, и электрические магниты. Магниты имеют возможность неподвижного закрепления с наружной стороны щек на корпусе запорного устройства и соединены с синхронизатором импульсов, который в свою очередь подсоединен к источнику переменного тока.

Патент [4] применяется для разделения электродом-проволокой в разных направлениях прессованных деталей, в частности деталей из металлических порошков и гранул, из материалов с анизотропной проводимостью.

Полученные патенты внедрены и применяются в реальном производстве АО КБХА, г. Воронеж, позволяют расширить возможности электроэрозионной и комбинированной обработки электродом-проволокой высокоточных деталей из перспективных прессованных материалов с анизотропной проводимостью.

Список использованных источников

1. Смоленцев, В. П. Технология изготовления высокоресурсных биметаллических деталей : монография / В. П. Смоленцев, В. Г. Грицюк, С. С. Юхневич ; под ред. А. В. Киричека // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. – М. : Изд. дом «Спектр», 2014. – Т. 4. – С. 86 – 141.

2. Пат. № 2581537 Российская Федерация, МПК В 23 Н 9/06, 3/10 (РФ). Способ электрохимического маркирования и устройство для его осуществления / Смоленцев В. П., Кириллов О. Н., Котуков В. И., Юхневич С. С. ; заявитель и патентообладатель ФГУП ГКНПЦ им. М. В. Хруничева. – № 2014117426 ; заявл. 29.04.2014 ; опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11. – 4 с.

3. Пат. № 2546936 Российская Федерация, МПК В 23 Н. Способ обработки сопрягаемых поверхностей запорного устройства и устройство для его осуществления / Смоленцев В. П., Клименченков А. А., Омигов Б. И., Юхневич С. С. ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – № 2013110207 ; заявл. 04.03.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 6 с.

4. Пат. № 2644493 Российская Федерация, МПК В 23 Р. Способ и устройство для обработки прессованной детали из материала с анизотропной проводимостью / Смоленцев В. П., Юхневич С. С., Кириллов О. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГУП ГКНПЦ им. М. В. Хруничева. – № 2016151493 ; заявл. 26.12.2016 ; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 5.

Н. М. Богатов, Л. Р. Григорьян, М. С. Коваленко, И. И. Нестеренко
(Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия,
e-mail: bogatov@phys.kubsu.ru)

ПРОТОННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Аннотация. Облучение низкоэнергетическими протонами приводит к изменению свойств поверхностной области полупроводниковых структур, что создает дополнительные возможности модификации полупроводниковых приборов. Работа посвящена исследованию влияния радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами, на свойства кремниевых структур с диффузионным n^+p -переходом. Образцы n^+p -типа облучались потоком протонов с энергией 40 либо 180 кэВ и дозой 10^{15} см⁻². Параметры вольтамперной характеристики и время переключения зависят от энергии протонов.

Ключевые слова: радиационные дефекты, протоны, кремний, n - p -переход.

N. M. Bogatov, L. R. Grigoryan, M. S. Kovalenko, I. I. Nesterenko
(Kuban State University, Krasnodar, Russia)

PROTON SURFACE TREATMENT OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES

Abstract. Irradiation with low-energy protons leads to a change in the properties of the surface region of semiconductor structures, which creates additional possibilities for modifying semiconductor devices. This work is devoted to the study of the effect of radiation defects created by low-energy protons on the properties of silicon structures with a diffusion n^+p junction. Samples of the n^+p type were irradiated with a proton flux with an energy of 40 keV or 180 keV and a dose of 10^{15} cm⁻². The parameters of the current-voltage characteristic and the switching time depend on the proton energy.

Keywords: radiation defects, protons, silicon, n - p -junction.

Облучение протонами позволяет контролируемо изменять свойства материала на глубине от 0,1 мкм до 1,0 мм [1]. Структура и свойства радиационных дефектов (РД) зависят от дозы облучения протонами, температуры отжига, концентрации исходных примесей [1, 2]. Характеристики приборов микро- и нанoeлектроники чувствительны к изменению состояния поверхностной области [3]. В работах [4, 5] показано, что протоны с начальной энергией 40 кэВ преимущественно изменяют физические свойства поверхностного n^+ -слоя, а протоны с начальной энергией 180 кэВ – свойства области пространственного заряда в p -слое, количество радиационных дефектов в максимуме пространственного распределения зависит от концентрации доноров и температуры облучаемых образцов.

Цель работы – определение электрофизических характеристик кремниевых структур с диффузионным n^+p -переходом, облученных низкоэнергетическими протонами.

Исследовались n^+p -структуры с двусторонней фоточувствительностью из кремния, выращенного методом Чохральского, с удельным сопротивлением базы p -типа $\rho = 10$ Ом·см и концентрацией равновесных дырок $p_0 \approx 10^{15}$ см⁻³, глубиной диффузионных n^+p - и $p-p^+$ -переходов $d_n \approx d_p \approx 0,45$ мкм, толщиной $L \approx 200$ мкм. Поверхностная концентрация фосфора составляла $N_p \approx 10^{20}$ см⁻³, бора – $N_B \approx 10^{20}$ см⁻³. Образцы площадью $S \approx 1$ см² были получены лазерным разделением пластин с помощью твердотельного ИАГ-лазера в импульсном режиме работы.

Структуры облучались со стороны n^+ -слоя потоком протонов с энергией $E_p = 40$ кэВ, 180 кэВ и дозой $F_p = 10^{15}$ см⁻² при температуре образцов $T_p = 300$ К, $T_p = 83$ К на имплантере Extrion/Varian (ФГБУН Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН).

Темновые вольтамперные характеристики (ВАХ) исследуемых ФЭП получены с помощью измерителя параметров полупроводниковых приборов ИППП-1 при температуре $T = 300$ К. Анализировалось изменение параметров ВАХ в результате облучения потоком протонов. Экспериментальные ВАХ аппроксимировались одноэкспоненциальной моделью

$$I(U) = I_0 \left(\exp \left\{ \frac{e(U - IR_s)}{akT} \right\} - 1 \right) + \frac{U - IR_s}{R_{sh}}. \quad (1)$$

где I_0 – обратный ток насыщения; a – коэффициент неидеальности n - p -перехода; R_s – сосредоточенное последовательное сопротивление; R_{sh} – шунтирующее сопротивление, определялось в результате аппроксимации измеренных зависимостей $I(U)$; k – постоянная Больцмана.

Для измерения переходных характеристик использовался цифровой осциллограф DSOX2022A. Для определения времени переключения использовались биполярные прямоугольные импульсы напряжения с постоянной амплитудой 10 мВ и частотой 200 кГц и 1 МГц.

Параметры облучения E_p , T_p и рассчитанные по модели (1) параметры ВАХ приведены в табл. 1.

1. Параметры ВАХ

№ образца	E_p , кэВ	T_p , К	I_0 , А	a	R_s , Ом	R_{sh} , Ом
1	180	83	$1,6 \cdot 10^{-4}$	2,6	3,1	$1,2 \cdot 10^5$
2	40	83	$1,6 \cdot 10^{-9}$	1,2	2,3	$1,1 \cdot 10^5$
3	40	300	$1,5 \cdot 10^{-8}$	1,3	2,2	$1,1 \cdot 10^5$
4			$1,6 \cdot 10^{-8}$	1,6	4,2	$3,4 \cdot 10^5$

Значение коэффициента неидеальности n - p -перехода $a = 1,6$ для необлученного образца № 4 свидетельствует о том, что основной вклад в силу тока I в диапазоне напряжений $U < 0,6$ В дает область пространственного заряда (ОПЗ) n^+ - p -перехода.

Протоны с $E_p = 40$ кэВ создают радиационные дефекты в n -области на расстоянии 0,41 мкм от поверхности. В результате уменьшаются время жизни, диффузионная длина неосновных и концентрация основных носителей заряда. Следствием этого является увеличение вклада квазинейтральной части n -области в силу тока I , проявляющееся в уменьшении результирующего коэффициента неидеальности n - p -перехода. Поэтому для образца № 3 ($T_p = 300$ К) a меньше, чем для необлученного образца № 4.

Основной вклад в ВАХ образца № 2 ($T_p = 83$ К) так же, как и образца № 3, дает n -область. Это подтверждается значением коэффициента a , близким к 1. В отличие от образца № 3, значение I_0 для образца № 2 уменьшилось на порядок, что обусловлено значительно меньшим числом РД в области пика Брэгга, созданных в n -области в случае $T_p = 83$ К, в сравнении с $T_p = 300$ К [4].

Протоны с энергией $E_p = 180$ кэВ создают радиационные дефекты на глубине 1,51 мкм во всей ОПЗ n^+ - p -перехода [5], поэтому происходит существенное увеличение вклада ОПЗ в обратный ток насыщения I_0 , возрастает коэффициент неидеальности n - p -перехода $a = 2,6$ у образца № 1.

Для облученных образцов R_s меньше, чем у необлученного, что связано с уменьшением поверхностного сопротивления. Протоны с энергией $E_p = 40$ кэВ в большей степени уменьшают значение R_s , чем протоны с $E_p = 180$ кэВ, так как поглощаются в поверхностной области и уменьшают поверхностное сопротивление. Уменьшение R_{sh} для облученных образцов может быть вызвано увеличением плотности поверхностных состояний на торцах.

Время переключения определяется временем жизни носителей заряда. В таблице 2 приведены значения времени переключения τ , полученные в результате анализа переходных характеристик.

2. Параметры ВАХ

№ образца	E_p , кэВ	T_p , К	τ_1 , с	τ_2 , с
1	180	83	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$
2	40	83	$6,6 \cdot 10^{-7}$	
3	40	300	$6,3 \cdot 10^{-7}$	
4			$6,4 \cdot 10^{-7}$	

Переходные характеристики образцов № 2, 3, 4 с достаточной точностью аппроксимируются одноэкспоненциальной зависимостью напряжения от времени, а образца № 1 – двухэкспоненциальной зависимостью. В результате для образцов

№ 2, 3, 4 найдено одно значение времени переключения τ_1 , а для образца № 1 – два значения τ_1 , τ_2 . Следовательно, образец № 1 обладает более высокой чувствительностью, для него частота переключения на порядок выше, чем для образцов № 2, 3, 4.

Список использованных источников

1. Козлов, В. А. Легирование полупроводников радиационными дефектами при облучении протонами и α -частицами / В. А. Козлов, В. В. Козловский // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35, вып. 7. – С. 769 – 795.

2. Брудный, В. Н. Радиационные эффекты в полупроводниках / В. Н. Брудный // Вестник Томского государственного университета. – 2005. – № 285: Серия «Физика». – С. 95 – 102.

3. Соболев, Н. А. Инженерия дефектов в имплантационной технологии кремниевых светоизлучающих структур с дислокационной люминесценцией / Н. А. Соболев // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44, вып. 1. – С. 3 – 25.

4. Влияние радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами в сильнолегированном слое, на характеристики кремниевых n^+p-p^+ структур / Ю. А. Агафонов, Н. М. Богатов, Л. Р. Григорьян и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2018. – № 10. – С. 86 – 91.

5. Влияние радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами при температуре 83 К, на характеристики кремниевых фотоэлектрических структур / Н. М. Богатов, Л. Р. Григорьян, А. И. Коваленко и др. // Физика и техника полупроводников. – 2020. – Т. 54, вып. 2. – С. 144 – 149.

И. А. Дьяков

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: nanogalvanotech@mail.ru)

СТРУКТУРИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ ХРОМОВЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. Рассмотрены вопросы улучшения трибологических свойств электрохимических покрытий хромом. Улучшение достигается изменением структуры металлической матрицы на этапе ее формирования. Углеродные нанотрубки обеспечивают дополнительные центры зарождения кристаллов.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, электрохимические покрытия, хромирование, наноструктурирование.

I. A. Dyakov

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

STRUCTURING CARBON NANOTUBES OF CHROME ELECTROCHEMICAL COATINGS

Abstract. The issues of improving the tribological properties of electrochemical coatings of chromium are considered. Improvement is achieved by changing the structure of the metal matrix at the stage of its formation. Carbon nanotubes provide additional crystal nucleation centers.

Keywords: carbon nanotubes, electrochemical coatings, chrome plating, nanostructuring.

Электролитическое хромирование широко применяется в машиностроении для обработки поверхностей металлических деталей. Хромовые покрытия придают поверхности изделий повышенную химическую стойкость, жаропрочность, отражательную способность, твердость. Улучшают сопротивление механическому износу вследствие снижения коэффициента трения. Развитие нанотехнологий способствует совершенствованию свойств электрохимических покрытий. Распространенные нанодобавки – детонационные или ультрадисперсные алмазы нанометрового диапазона, применяют в композитных электрохимических покрытиях (КЭП) [1]. Кристаллы металлической матрицы в таких покрытиях не претерпевает структурных изменений. Структурные изменения вызваны включением наночастиц в металлическую матрицу, а свойства покрытий определяются свойствами наночастиц. Структуру готовой металлической матрицы можно изменять классическими методами, например термической обработкой, применяя лазерное излучение [2], что приводит к улучшению трибологических свойств.

Электроосаждение металлов из электролитов, содержащих в качестве дисперсной фазы углеродные нанотрубки (УНТ), также улучшает функциональные свойства покрытий вследствие структурирования кристаллов матрицы на этапе ее формирования [3].

Технология электрохимического осаждения хромовых металлических покрытий на металлические поверхности состоит из трех групп операций: подготовительные, основные и заключительные. Углеродные нанотрубки вводятся в электролит на заключительном этапе его приготовления и относятся к основному этапу обработки. Электроосаждение выполняется в соответствии с ГОСТ 9.305–84. В результате выполнения типовых операций получается, например, покрытие повышенной твердости (рис. 1).

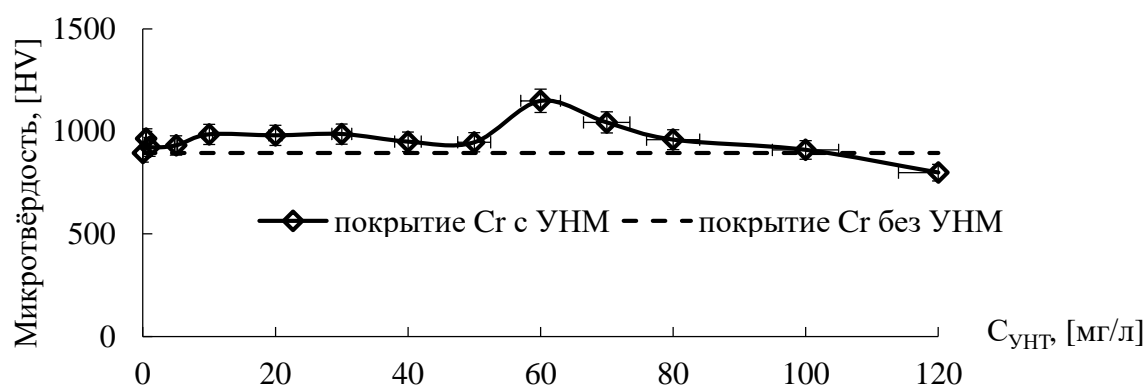


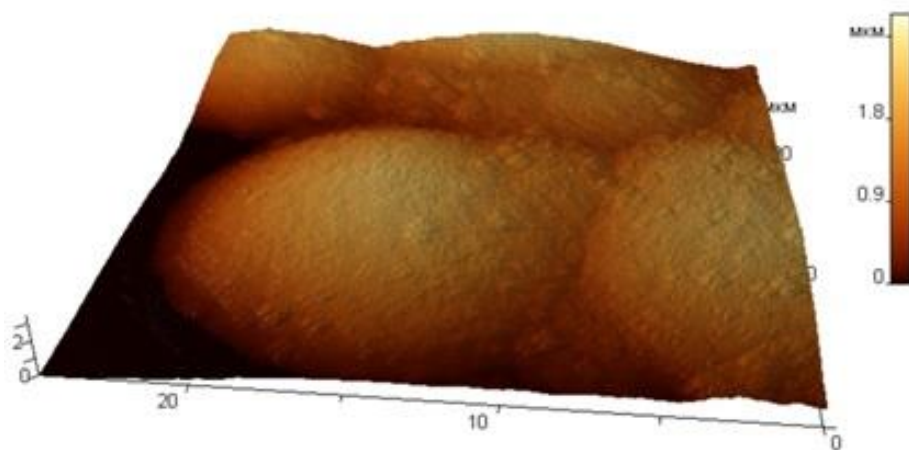
Рис. 1. Зависимость микротвердости хромового покрытия от концентрации УНТ

При оптимальном модифицировании концентрация дисперсной фазы $C_{УНТ} = 60$ мг/л, электролитическое хромовое покрытие имеет наивысший показатель микротвердости 1150 HV, против покрытия без добавления УНТ, имеющего микротвердость 895 HV. Показатель микротвердости улучшается на 28%.

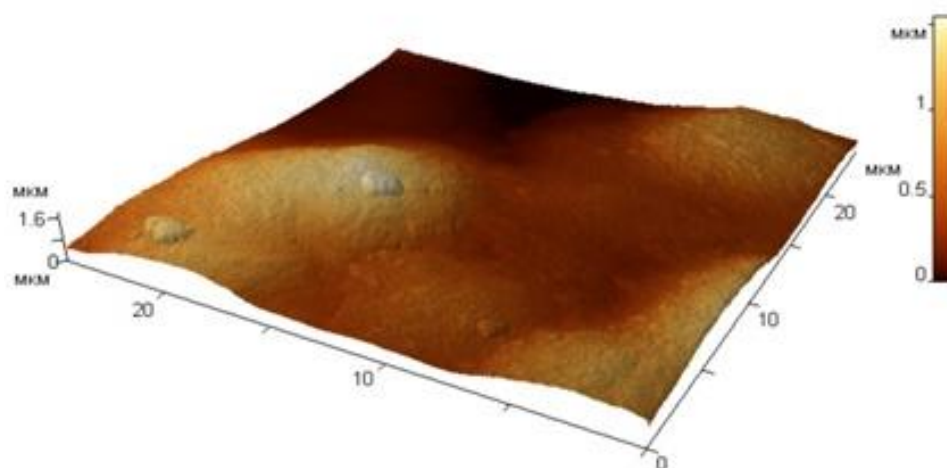
Фактор улучшения – уменьшение размеров кристаллов и сглаживание границ между зернами кристаллов. На изображениях, полученных с помощью атомно-силовой микроскопии (рис. 2), отчетливо видно уменьшение размеров кристаллов образцов в 1,5–2 раза.

Концентрация углеродных нанотрубок $C_{УНТ} = 40$ мг/л. Средний размер зерен ~ 10...15 мкм. Высота неровностей поверхности ~ 1,5...2,0 мкм.

Структурные изменения вызваны топологическими дефектами поверхностных графеновых слоев углеродных нанотрубок. Отсутствие одного или нескольких атомов углерода усиливает акцепторные свойства углерода, точнее графенового слоя, вследствие появления свободных π -электронов. Катионам металла покрытия Cr^{6+} , Cr^{3+} для восстановления недостает нескольких электронов. Восстановление атома металла и зарождение кристаллов происходит в активных энергетических зонах. Топологические дефекты нанотрубок дополняют активные энергетические зоны обрабатываемой металлической поверхности и вносят изменения в процесс роста кристаллов и структуру металлической матрицы электроосаждаемого покрытия. Как следствие кристаллы располагаются плотнее, их размеры уменьшаются, а границы становятся не такими четкими.



а)



б)

Рис. 2. Топография поверхности образцов:
 а – покрытие без добавления нанодисперсной фазы;
 б – покрытие с применением УНТ

Список использованных источников

1. The Development of the Electrochemical Deposition Process of Nickel–Diamond Coating with Phosphorus Modified DND / V. Yu. Dolmatov, G. K. Burkat, D. V. Rudenko, I. A. Dyakov // Journal of Superhard Materials. – 2019. – V. 41, No. 1. – P. 43 – 48.
2. Ushakov, I. Formation of surface properties of VT18u titanium alloy by laser pulse treatment / I. Ushakov, Yu. Simonov // Materials Today: Proceedings. – 2019. – V. 19, No. 5. – P. 2051 – 2055.
3. Интенсификация теплоотдачи на алюминиевых поверхностях путем оксидирования их наномодифицированными электролитами / Ю. В. Литовка, Е. Н. Туголуков, А. Г. Ткачев и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 928 – 935.

М. Ю. Карелина, Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, Россия, e-mail: mitriy2@ yandex.ru)

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И РАЗБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Аннотация. Приведен краткий анализ силового взаимодействия элементов резьбового соединения. Предложены технологические способы повышения эксплуатационных свойств резьб за счет использования ультразвука при сборке и разборке. Представлены варианты реализации передачи ультразвуковых колебаний резьбе. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов ультразвуковой сборки и разборки.

Ключевые слова: технология, ультразвук, сборка, разборка, резьбовые соединения.

M. Yu. Karelina, R. I. Nigmatzyanov, S. K. Sundukov, D. S. Fatyukhin
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia)

FEATURES OF ASSEMBLY AND DISASSEMBLY OF THREADED CONNECTIONS USING ULTRASOUND

Abstract. The article provides a brief analysis of the force interaction of threaded connection elements. Technological methods for improving the operational properties of threads by using ultrasound during Assembly and disassembly are proposed. Variants of implementation of ultrasonic vibrations transmission to the thread are presented. The results of experimental studies of ultrasonic Assembly and disassembly processes are presented.

Keywords: technology, ultrasound, assembly, disassembly, threaded connections.

Технологии, сопровождающие весь жизненный цикл изделия от производства до утилизации или переработки, неотрывно связаны с процессами сборки и разборки. Наиболее распространены в машиностроении резьбовые соединения, на которые приходится до 70% всех соединений. Обеспечение стабильно высокого качества сборки и разборки в условиях производства и ремонта позволяет повысить работоспособность, долговечность и ремонтпригодность техники [1, 2].

Совершенствование существующих процессов сборки и разборки резьбовых соединений основывается как на повышении качества деталей, из которых они изготовлены, так и на использовании различных технологических приемов, позволяющих улучшить условия сборки и разборки.

Силовое взаимодействие элементов резьбового соединения оказывает основное влияние на его эксплуатационные свойства. Самым простым методом обеспечения требуемых свойств соединения при сборке является создание необходимого момента

предварительной затяжки, который противодействует ослаблению и самооткручиванию резьбы. Деформации и трение в каждом из витков резьбы распределяются неравномерно. Жуковским Н. Е. было доказано, что ближайшие к соединению витки резьбы испытывают основную нагрузку, а начиная с пятого витка – не более 10% от общей нагрузки. При эксплуатации периодические растяжения, сжатия и вибрации приводят к перераспределению напряжений, что снижает трение и приводит к самооткручиванию соединения.

Основной задачей процесса разборки при ремонте и обслуживании техники является сохранность деталей. Сила трения, коррозия, схватывание сопряженных поверхностей, наличие абразивных частиц и другие факторы значительно осложняют процесс.

Таким образом, уменьшение трения между сопрягаемыми деталями как при сборке, так и при разборке резьб является эффективным фактором повышения эксплуатационных свойств соединений [3]. Вибрации, в том числе ультразвукового диапазона, для уменьшения силы трения при образовании посадок широко применяются в технике.

Поскольку усилие сборки и разборки резьбовых соединений складывается из трения в резьбе (30...40% от общего усилия), трения торца гайки и болта о собираемые поверхности (40...50%) и усилия затяжки (10...20%), наложение ультразвуковых колебаний способствует значительному снижению трения в элементах резьбы и позволяет повысить качество соединения [4]. Под действием высокочастотных колебаний на один из элементов гетерогенной системы создается эффект квазивязкого трения, который заключается в том, что механическое сопротивление, возникающее в плоскости касания двух тел, резко уменьшается, т.е. трение приобретает характер жидкостного.

При разработке технологических процессов ультразвуковой сборки и разборки резьбовых соединений основными задачами являются выбор способа приложения колебаний, выбор оборудования, определение и оптимизация параметров обработки.

Как показывают исследования, колебания различной поляризации снижают трение в соединениях [5]. Наиболее распространенным типом колебательных систем являются стержневые, создающие продольные колебания рабочего инструмента. Передача продольных колебаний одной из деталей создает ее незначительные осевые смещения относительно другой детали. В случае резьбовых соединений наиболее рациональным является применение колебаний, имитирующих вращение гайки (болта), т.е. крутильных. Для создания крутильных колебаний стержневые колебательные системы оснащаются волноводами, трансформирующими продольные колебания в крутильные.

Наиболее значимым параметром, определяющим характеристики процесса закручивания/откручивания резьбовых соединений, является амплитуда колебаний. Исследования показывают, что при амплитудах колебания излучателя 20...25 мкм наблюдается наибольший технологический эффект. При таких амплитудах наложение ультразвуковых колебаний на резьбовое соединение позволяет снизить неравномерность распределения напряжений в витках резьбы и до 30...35% повысить значение момента закручивания при сборке, а требуемый момент откручивания при разборке снижается до 2 раз.

Список использованных источников

1. Бердников, Л. А. Основы технологии производства и ремонта автомобилей : конспект лекций по курсу / Л. А. Бердников. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2015. – 339 с.
2. Бобровицкий, В. И. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В. И. Бобровицкий, В. А. Сидоров. – Донецк : Юго-Восток, 2011. – 238 с.
3. Сборка прессовых соединений с применением ультразвуковых колебаний / Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин // Вестник машиностроения. – 2017. – № 9. – С. 43 – 46.
4. Штриков, Б. Л. Повышение качества резьбовых соединений в условиях ультразвуковых воздействий / Б. Л. Штриков, И. В. Шуваев // Высокие технологии в машиностроении : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Самара, 2004. – С. 117.
5. Способы ультразвуковой разборки соединений деталей / Р. И. Нигметзянов, В. М. Приходько, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2017. – № 2. – С. 41 – 46.

А. В. Норман¹, А. В. Норман¹, А. В. Перова²

¹Воронежский авиационный техникум имени В. П. Чкалова, Воронеж, Россия,
e-mail: annya_p@mail.ru;

²Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия)

ТЕХНОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЯ ЧУГУННОГО ПОКРЫТИЯ НА ЛЕГКОПЛАВКИЕ СПЛАВЫ

Аннотация. Предложен новый способ нанесения чугунных покрытий на алюминиевые сплавы, включающий удаление высокотемпературной оксидной пленки. Составлен технологический процесс комбинированного нанесения чугунного покрытия. Определены рациональные технологические режимы и способы дополнительной обработки.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, режимы обработки, технологический процесс, поверхность, чугунное покрытие, обработка.

A. V. Norman¹, A. V. Norman¹, A. V. Perova²

¹Voronezh Aviation Technical School named after V. P. Chkalov, Voronezh, Russia;

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia)

TECHNOLOGY OF COMBINED APPLICATION OF CAST IRON COATING ON LOW-MELTING ALLOYS

Abstract. A new method for applying cast iron coatings to aluminum alloys, including the removal of a high-temperature oxide film, is proposed. The technological process of combined application of cast iron coating is compiled. Rational technological modes and methods of additional processing are determined.

Keywords: aluminum alloys, processing modes, technological process, surface, cast iron coating, processing.

На сегодняшний день, несмотря на множество известных направлений модификации поверхностных слоев, актуальным остается нанесение покрытий из металлов, отвечающих запросам современной промышленности и обеспечивающих заданные физико-механические и эксплуатационные показатели, предъявляемые разработчиками к новой технике. Особенно бурно это направление развивается в авиакосмической отрасли, где одновременно необходимо воплотить в изделии такие эксплуатационные свойства, которые до настоящего времени считались несовместимыми. Особый интерес при этом вызывают детали из алюминиевых сплавов, обладающие комплексом свойств, выгодно отличающих их от других материалов. Преимуществом алюминиевых сплавов считается его плотность, которая позволяет значительно сократить массу готового изделия. Кроме того, алюминиевые сплавы легко поддаются обработке как резанием, так и пластической деформацией, а также обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью.

Проведенные исследования показали, что имеются способы обработки деталей из алюминиевых сплавов, которые позволяют получить на их поверхности адгезионно-стойкие покрытия, обладающие высокой износостойкостью и стойкостью к агрессивным средам. Это достигается в результате электроэрозионного нанесения на поверхности алюминиевых сплавов покрытий из материалов с высокой температурой плавления (например, чугуна).

Получение качественного слоя покрытия затрудняется множественными химическими реакциями, протекающими в результате взаимодействия материала электрода-инструмента (ЭИ), атмосферы и материала заготовки. В ходе анализа всех взаимосвязей в схеме «электрод-инструмент» – «межэлектродный зазор» – «заготовка» были выявлены следующие факторы, затрудняющие нанесение защитных покрытий на алюминиевые сплавы электроэрозионным методом:

- интенсивное испарение и выброс жидкой фазы материала катода из зоны разряда с уже нанесенным материалом ЭИ, происходящим в результате того, что температуры плавления и кипения материалов применяемых анодов значительно превышает температуру плавления алюминиевых сплавов;

- наличие на поверхности алюминиевого сплава плотной, жаростойкой, оксидной пленки малой электропроводности, приводящей к необходимости проведения обработки при повышенных значениях рабочего тока, которые также могут вызвать эрозию заготовки вследствие интенсивного нагрева, плавления и испарения при протекании рабочих токов большой величины [2];

- межэлектродная воздушная среда, наличие которой вызывает окисление и азотирование мелких капель расплавленного металла ЭИ до их соприкосновения с поверхностью заготовки. Металл заготовки, нагретый до высоких температур, также реагирует с элементами окружающей среды, в результате чего покрытия получают с многочисленными порами, трещинами и имеют несплошности, при этом ухудшается адгезия покрытия к основе. Толщина таких покрытий небольшая и составляет 20...30 мкм, а химический состав сильно отличается от исходного состава наносимого электрода.

Авторами работы [3] установлена возможность изменения характера интенсивности привеса катода подбором межэлектродных сред. Сущность выбора среды заключается в исключении или уменьшении окисления материалов ЭИ. Кроме того, при нанесении содержащих углерод покрытий происходит его выгорание до 40...60%, что сказывается на твердости и износостойкости покрытия.

Также сообщается о положительных результатах управления межэлектродным зазором с помощью наложения на ЭИ низкочастотных колебаний [4]. Вибрация инструмента происходит вдоль оси с частотой 50...120 Гц. При этом движения инструмента должны быть увязаны с процессом нанесения покрытия.

Помимо перечисленных факторов, на качество сформированных слоев, а также на интенсивность привеса катода существенное влияние оказывают такие параметры режима обработки, как энергия и длительность импульса, скорость перемещения электрода-инструмента, удельное время обработки, варьируя которые, можно изменять в широком диапазоне физико-химические и механические свойства покрытий. Для формирования качественных слоев на поверхности алюминиевого сплава марки Д16 в качестве ЭИ был выбран чугун марки СЧ-20.

1. Характеристики слоя покрытия сформированного на поверхности алюминиевого сплава

Характеристика	Энергия импульса, Дж	Толщина нанесенного слоя покрытия, мкм				
		20	50	100	150	200
Сплошность, %	<0,5	40...50	75...85	85...95	80...90	–
	0,5...3,0	50...70	85...90	80...85	75...80	70...75
Наличие микротрещин	<0,5	Нет	Нет	Нет	Случайное появление	–
	0,5...3,0	Нет	Нет	Незначит.	Встречаются	Сетка трещин
Пористость	<0,5	Нет	Нет	Нет	Редкое появление	–
	0,5...3,0	Нет	Нет	Редкое появление	Частично сквозная	Значит.
Высота микронеровности, мкм	<0,5	2...8	8...20	20...35	45...70	–
	0,5...3,0	6...10	15...25	30...50	60...90	100...140
Прижоги	<0,5	Нет	Нет	Нет	Встречаются	–
	0,5...3,0	Нет	Нет	Редко	Встречаются	Часто

Примечание: материал заготовки – Д16; материал ЭИ – чугуны марки СЧ-20.

Анализ нанесенных покрытий показал (см. табл. 1), что применение более мягких режимов $A_n = (0,1...0,5)$ Дж позволяет получить покрытия толщиной порядка 40 мкм, а с увеличением жесткости режима $A_n \geq 1$ Дж толщина возрастает до 150...200 мкм. При этом в самом покрытии наблюдается появление дефектов различного рода: сетки трещин, прижогов, неоднородностей, а также возможно образование газовых раковин и пустот, которые могут являться концентраторами напряжений, чего не наблюдается при применении более мягких режимов $A_n = (0,1...0,5)$ Дж. Шероховатость таких покрытий составляет $Ra = (100...150)$ мкм, в отличие от полученных на мягких режимах $Ra = (2...20)$ мкм.

На рисунке 1 представлены зависимости толщины покрытия и толщины диффузионного слоя от энергии импульса, полученные экспериментально. Как видно, при энергии импульса $A_n = 0,2$ Дж толщина покрытия составляет около 25 мкм, а толщина диффузионного слоя $H = (5...18)$ мкм.

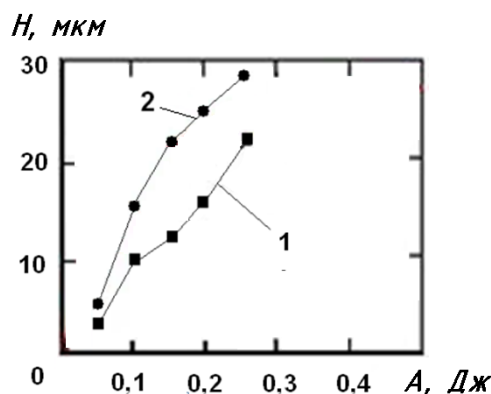


Рис. 1. Изменение толщины (H , мкм) от энергии импульса (A_n , Дж):
 1 – диффузионный слой; 2 – нанесенный слой металла

На основании полученных данных был предложен новый способ [8] нанесения чугунных покрытий с подготовкой поверхности в процессе комбинированной обработки путем химического удаления высокотемпературной окисной пленки, исключающей получение качественных слоев чугуна [2]. Технологический процесс комбинированного нанесения чугунного покрытия на легкоплавкий алюминиевый сплав электроэрозионным методом выглядит следующим образом:

I. Подготовительный этап, включающий выбор детали, материал которой подлежит замене на алюминиевый сплав, определение способа изготовления заготовки, отработка технологичности конструкции детали, отработка геометрии детали, выбор и подготовка средств технологического оснащения, ЭИ [5], выбор межэлектродной среды, определение режимов электроэрозионного нанесения покрытия [6]. Оптимальное сочетание режимов и условий нанесения чугунного покрытия (материал ЭИ – чугун марки СЧ-20) на алюминиевый сплав (материал заготовки – Д16) следующее: $A_n = (0, \dots, 0,5)$ Дж; $U_{cp} = (50 \dots 60)$ В; $I_{кз} = (3 \dots 5)$ А; $\tau_n = (10^2 \dots 10^3)$ мкс; скорость подачи ЭИ $v_{\text{Э}} = (50 \dots 200)$ мм/мин; частота вибрации инструмента вдоль оси 50...120 Гц; количество слоев $n = 3$.

Нанесение покрытия ведется в течение времени, необходимого для формирования покрытия требуемой толщины $T_0 = (3 \dots 5)$ мин/см².

II. Производственный этап формирования покрытия. Процесс формирования чугунного покрытия заключается в подготовке поверхности к нанесению, непосредственном нанесении покрытия электроэрозионным методом и финишной обработке. Технологический маршрут нанесения покрытия на алюминиевые сплавы будет выглядеть следующим образом.

1. Контроль деталей в целом и поверхностей, подлежащих обработке.

2. Подготовка поверхности заготовки под нанесение покрытия. При подготовке поверхности большое внимание необходимо уделить ее очистке от грязи, краски, жиров и масел, которую проводят с помощью обезжиривания и травления. Обезжиривание проводится органическими растворителями: бензином, ацетоном. Обезжиренные детали промывают в теплой воде и протирают жесткой волосяной щеткой. Травление проводят в 15%-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 333...338 К в течение

2...5 мин или в 30%-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 293...298 К в течение 1...2 мин для нейтрализации остатков щелочи, после чего детали промывают в теплой воде.

3. Сушка детали при температуре 333 К до окончательного удаления влаги.

4. Установка ЭИ в электрододержатель вибратора.

5. Установка и закрепление заготовки в приспособлении.

6. Приготовление и нанесение защитной межэлектродной среды на обрабатываемую поверхность.

7. Отработка режимов на оборудовании и изготовление первого опытного образца.

8. Контроль опытного образца, включающий не только контроль качества покрытия, но и оценку эффективности процесса.

9. Обработка основной партии деталей.

10. Промывка детали в горячей воде, в 2%-ным водным раствором хромового ангидрида той же температуры 333...353 К, а затем вновь горячей проточной водой.

11. Сушка при температуре 387...453 К или горячим воздухом при 333...383 К.

12. Контроль тщательности промывки проводят 2%-ным раствором азотнокислого серебра.

13. Контроль качества покрытия. Визуальный осмотр внешних видимых дефектов – трещин, прижогов и пр. Контроль качества поверхности, определение толщины и сплошности сформированного слоя (сплошность покрытия должна быть 75...95% при толщине не менее 20 мкм).

14. Финишная обработка. Для покрытий, сформированных электроэрозионным методом, имеющих повышенную шероховатость или несплошность в пределах 5...25%, целесообразно рекомендовать способ восстановления поверхностей из немагнитных материалов путем нанесения композиции с наполнителем, предложенный в патенте [7]. В качестве наполнителя используют мелкодисперсный магнитный порошок, который выдерживают в магнитном поле до заполнения местных дефектов. Предлагаемый способ обеспечивает более эффективное заполнение различных дефектов, пор, трещин, впадин и углублений, в результате чего достигается не только сплошность покрытия, но и происходит выравнивание поверхностного слоя.

III. Дополнительная обработка. В целях повышения прочности, коррозионной стойкости, улучшения адгезионных свойств покрытий, полученных электроэрозионным методом, необходимо провести их дополнительную обработку [1]. Прочность повышают термической обработкой и устранением дефектов. Термическая обработка полностью или частично снимает остаточные напряжения, а также повышает механические свойства материала. Остаточные напряжения силуминов снимают отжигом при температуре 573...623 К с выдержкой в печи в течение 2...5 ч. Термическая обработка допускается только в том случае, если она не вызывает чрезмерных деформаций при короблении. В некоторых случаях целесообразно применение упрочняющей обработки, например дробеструйной или обкатки роликом.

IV. Общий контроль деталей.

V. Консервация готового изделия.

Заключение. Составлен технологический процесс комбинированного нанесения чугунного покрытия на легкоплавкие алюминиевые сплавы, включающий финишную обработку. Толщина покрытия, сформированного таким способом, достигает значения 80 мкм при $Ra \approx 20$ мкм, а сплошность после финишной обработки – до 100%.

Определено рациональное сочетание режимов и условий нанесения чугунного покрытия на легкоплавкие алюминиевые сплавы электроэрозионным методом.

Сформированы общие рекомендации по выбору дополнительной обработки, проводимой в целях повышения прочности, коррозионной стойкости, улучшения адгезионных свойств покрытий, полученных электроэрозионным методом.

Список использованных источников

1. Основы обеспечения качества металлических изделий с неорганическими покрытиями / В. Ф. Безъязычный, В. Ю. Замятин, А. Ю. Замятин, Ю. П. Замятин. – М. : Машиностроение, 2005. – 608 с.

2. Перова, А. В. Формирование покрытий на алюминиевых сплавах методом электроэрозионного легирования / А. В. Перова, В. П. Смоленцев, А. С. Грибанов // Авиакосмические технологии «АКТ – 2008» : тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. – Воронеж : ВГТУ, 2008.

3. Перова, А. В. Модель нанесения покрытий на алюминиевые сплавы электроэрозионным методом / А. В. Перова, Е. В. Смоленцев, А. В. Норман // Обеспечение качества продукции на этапах конструкторской и технологической подготовки производства : межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. – Вып. 7. – С. 46 – 53.

4. Сафонов, С. В. Механизм электроэрозионного формирования покрытий на алюминиевых сплавах при низкочастотных колебаниях электрода / С. В. Сафонов, В. П. Смоленцев, А. В. Перова // Интегрированные, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке : сб. тр. по материалам Междунар. науч. симпозиума технологов-машиностроителей. – Ростов н/Д. : ДГТУ, 2015. – С. 42 – 49.

5. Перова, А. В. Формирование защитных покрытий на основе металлов электроэрозионным методом / А. В. Перова // Нетрадиционные методы обработки : межвуз. сб. науч. тр. – М. : Машиностроение, 2009. – Вып. 9, Ч. 2. – С. 54 – 60.

6. Перова, А. В. Методика определения режимов нанесения покрытий электроэрозионным методом / А. В. Перова // Нетрадиционные методы обработки : межвуз. сб. науч. тр. – М. : Машиностроение, 2010. – Вып. 9, Ч. 3. – С. 70 – 78.

7. Пат. 2240910, Российская Федерация, МПК⁷ В 23 Р 6/00. Способ восстановления изделий из немагнитных материалов / Смоленцев В. П., Смоленцев Г. П., Некрасов А. Н. – 2004 ; 2003135531 ; заявл. 05.12.2003 ; опубл. 27.11.2004, Бюл. № 33,

8. Пат. 2405662, Российская Федерация. Способ нанесения чугунного покрытия на алюминиевые сплавы / Смоленцев В. П., Гребенщиков А. В., Перова А. В., Омигов Б. И. – 2010, Бюл. № 34.

Е. А. Салтанаева¹, В. М. Приходько², С. В. Сафонов³

¹Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия,
e-mail: elena_maister@mail.ru;

²Московский государственный автомобильно-дорожный университет, Москва, Россия,
e-mail: vsmolen@inbox.ru;

³Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия,
e-mail: vsmolen@inbox.ru)

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОШИВКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Аннотация. Изучена технология изготовления глубоких каналов малого диаметра в керамических вставках форсунок, используемых в энергетических машинах для подачи жидкого топлива. Показана эффективность использования внешнего ультразвукового воздействия для интенсификации процесса прошивки и массовыноса продуктов обработки. Предложены методики расчета технологических режимов, обеспечивающих повышенные требования к эксплуатационным характеристикам тепловых агрегатов.

Ключевые слова: керамические материалы, форсунка, интенсификация массовыноса, ультразвуковое воздействие.

E. A. Saltanaeva¹, V. M. Prikhodko², S. V. Safonov³

¹Kazan State Energy University, Kazan, Russia;

²Moscow State Road University, Moscow, Russia;

³Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia)

ULTRASONIC INTENSIFICATION COMBINED PURCHASES OF DEEP HOLES

Abstract. The technology of manufacturing deep channels of small diameter in ceramic nozzle inserts used in power machines for supplying liquid fuel was studied. The efficiency of using external ultrasonic exposure to intensify the process of flashing and mass transfer of processing products is shown. Methods of calculating technological modes that provide increased requirements for the operational characteristics of thermal units are proposed.

Keywords: ceramic materials, nozzle, mass-carrying intensification, ultrasonic treatment.

В условиях современной экономики требуется создание высокоресурсной продукции отечественным производителем. Для удовлетворения запросов разработчиков энергетических машин, использующих керамические форсунки для подачи топлива, необходимо получение деталей с глубокими каналами сложного профиля и переменного сечения [1, 2]. Дополнительным требованием выступает обязательное сохранение геометрии

канала и его стенок. Прошивка глубоких отверстий включает процесс анодного растворения технологической металлической вставки, повторяющей сечение и профиль канала, а также процесс удаления продуктов обработки из рабочей зоны. С увеличением расстояния от электрода-инструмента до места обработки процесс анодного растворения начинает затухать. Дополнительным фактором, снижающим эффективность получения канала с заданной геометрией, является перекрытие рабочей области продуктами обработки. С учетом вышесказанного для изготовления описанных каналов наряду с традиционными методами применяются комбинированные методы обработки [3]. Главным условием при этом выступает обязательное повышение технологических показателей метода обработки, а также повышение эксплуатационных характеристик изделий. В статье рассматривается наиболее эффективный метод интенсификации процесса прошивки и массовыноса путем использования ультразвукового воздействия [4, 5].

Для изготовления высокоресурсных теплонапряженных форсунок для подачи топлива используют керамические материалы, получаемые методом прессования порошковых материалов с последующим удалением металлических технологических вставок в каналах проточной части. В Воронеже были получены способы изготовления и устройства для прошивки глубоких отверстий в керамических деталях с использованием ультразвука [6, 7], которые на современном этапе развития технологии наиболее эффективны, доведены до стадии промышленного использования и имеют доступное материальное сопровождение. Основываясь на этих работах, авторами статьи была предложена схема комбинированного удаления технологической вставки из минералокерамической втулки (рис. 1) [8, 9].

На рисунке 1 приведена схема комбинированной обработки каналов путем удаления из минералокерамической втулки 6 заложенной перед прессованием металлической вставки 7, профиль которой может иметь произвольную конфигурацию. У вставки 7 один из концов выходит за пределы втулки 6. С его помощью осуществляется подвод тока от низковольтного источника постоянного тока (генератор 8), что обеспечивает процесс анодного растворения вставки 7. Электролит 9 заполняет зазор между электродом-инструментом 4 и вставкой 7 и является рабочей средой. Электролит может прокачиваться через зазор. 14 – зазор, на который излучатель 3 удален от втулки 6. При протекании анодного растворения вставки 7 ее длина уменьшается, и на эту величину увеличивается расстояние между излучателем 3 и торцом вставки 7. Анодное растворение происходит в момент прохождения над торцом вставки 7 электрода-инструмента 4. При совмещении отверстия 5 электрода-инструмента 4 с профилем отверстия во вставке 7 генератором 1 вырабатываются импульсы тока, поступающие на преобразователь 2 и формирующие ультразвуковое излучение от излучателя 3. Для сохранности кромки втулки 6 от разрушения под ультразвуковым воздействием при вращении электрода-инструмента 4 необходимо выполнить отверстие 5 с диаметром, меньшим диаметра сечения торца вставки 7.

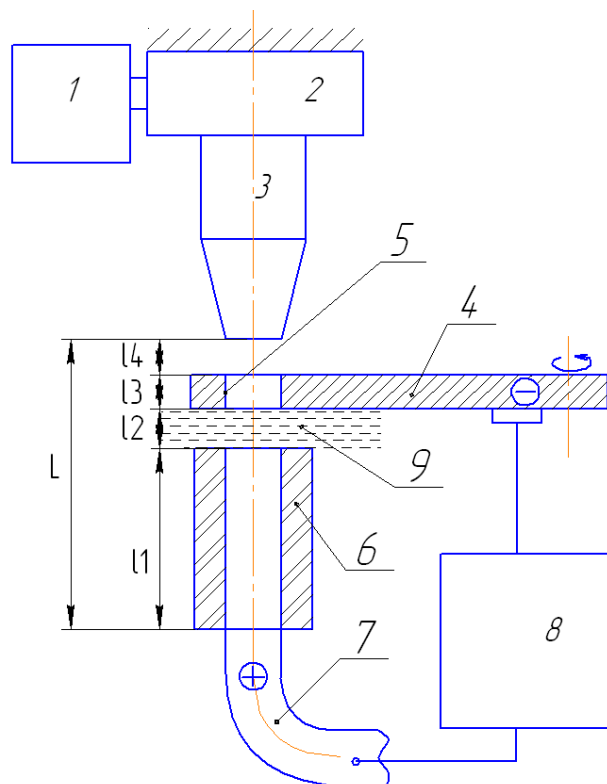


Рис. 1. Схема комбинированного удаления технологической вставки из минералокерамической втулки:

1 – ультразвуковой генератор; 2 – преобразователь; 3 – излучатель; 4 – электрод-инструмент; 5 – отверстие для прохождения ультразвукового луча; 6 – втулка; 7 – металлическая вставка; 8 – генератор тока для электрохимической обработки; 9 – электролит; 10 – 14 – участки системы, формирующие межэлектродный зазор с длиной L

Было выяснено, что при достижении продуктами обработки загрязнения на уровне 50% по массе процесс анодного растворения вставки начинает затухать. Физическая модель массовыноса продуктов обработки из рабочей зоны представлена рис. 2. На рисунке 2 показан цикл (один оборот электрода-инструмента формообразования канала в минералокерамической втулке 2). Под воздействием процесса анодного растворения 5 образуется углубление, располагающееся под электродом-инструментом 1. Это углубление со стороны вставки 5 будет в какой-то степени заполнено продуктами обработки 4.

Когда канал будет перекрыт продуктами обработки полностью (рис. 2, а), соответственно будет прекращен и процесс анодного растворения, что обуславливается невозможностью достижения зоны анодного растворения вставки рабочей средой 3. После прохождения электродом-инструментом 1 определенного угла поворота относительно оси (направление б на рис. 2, а) отверстие в электроде-инструменте 1 достигает соосного положения с втулкой 2, и в этот момент подается ультразвуковой импульс (показан стрелкой на рис. 2, б), создающий давление на жидкость 3 и продукты обработки 4 в канале. Границы канала определяют амплитуду ультразвукового импульса. При достижении импульсом границ протекания анодного растворения выделяется энергия,

которая, как следствие, вызывает тепловые, кавитационные явления. Далее импульс отражается от границы вставки 5 (рис. 2, б). Затем продукты обработки 4, рабочая среда 3 вместе с импульсом удаляются из канала. Следующий шаг – зазор между электродом-инструментом 1 и втулкой 2 заполняется рабочей средой 3, предварительно из него выносятся продукты обработки. Электрод-инструмент 1 продолжает вращение в направлении б (рис. 2, в) и ток снова начинает поступать в зону обработки вставки 5. Таким образом протекает дальнейшее анодное растворение вставки и получение канала во втулке 2 форсунки. Электрод-инструмент 1 следует выполнять из пластичного материала (меди, латуни и др.), чтобы он хорошо поглощал ультразвуковую энергию. Это позволяет защитить кромки канала от воздействия импульса.

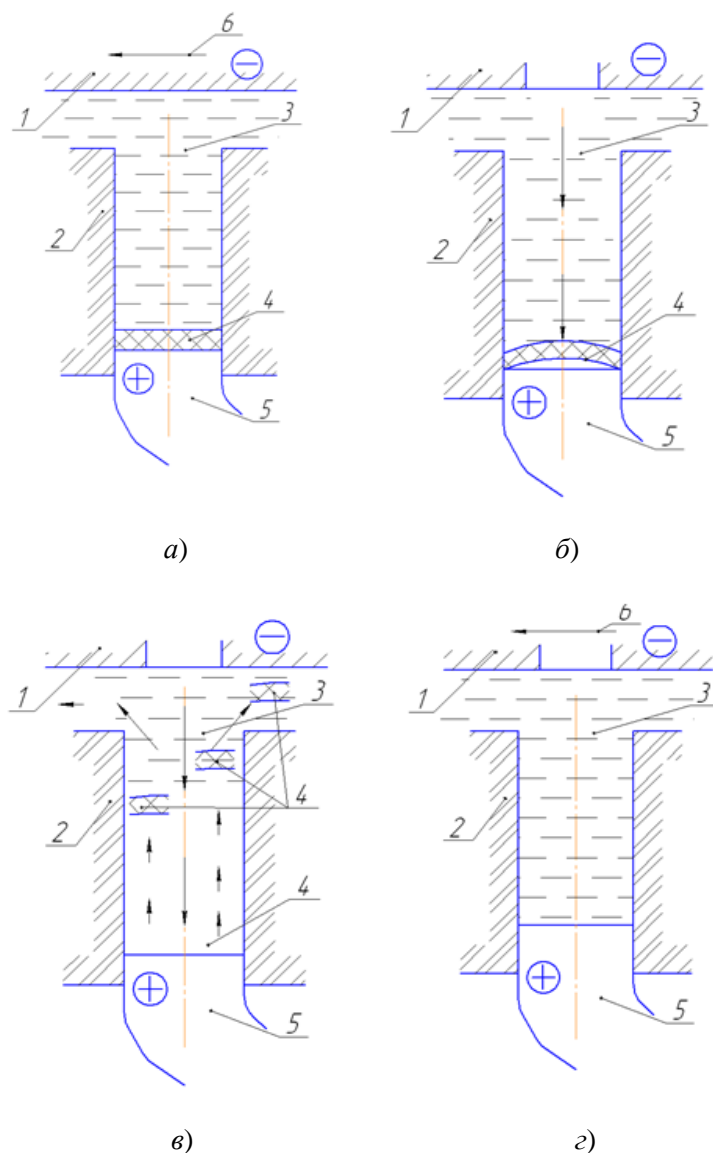


Рис. 2. Схема образования продуктов обработки при анодном растворении вставки и их удаления ультразвуковым воздействием:

- 1 – электрод-инструмент; 2 – минералокерамическая втулка форсунки;
 3 – рабочая среда (электролит); 4 – продукты анодного процесса; 5 – металлическая вставка;
 б – направление вращения электрода-инструмента

Рисунок 3 демонстрирует, как влияет величина амплитуды (A) продольных колебаний на предельную глубину (L) отверстия, получаемого в процессе удаления вставки. Изменение величины амплитуды регулировалось посредством изменения частоты колебаний, учитывая рабочий диапазон излучателя. На самой установке для комбинированной обработки глубоких отверстий величину амплитуды можно настраивать. На рисунке 3 для различных размеров и глубины отверстий в керамических форсунках отмечены расчетные амплитуды (взяты водные электролиты для комбинированной обработки). Рисунок 3 демонстрирует экспериментальные показатели, подтверждающие правомерность модели.

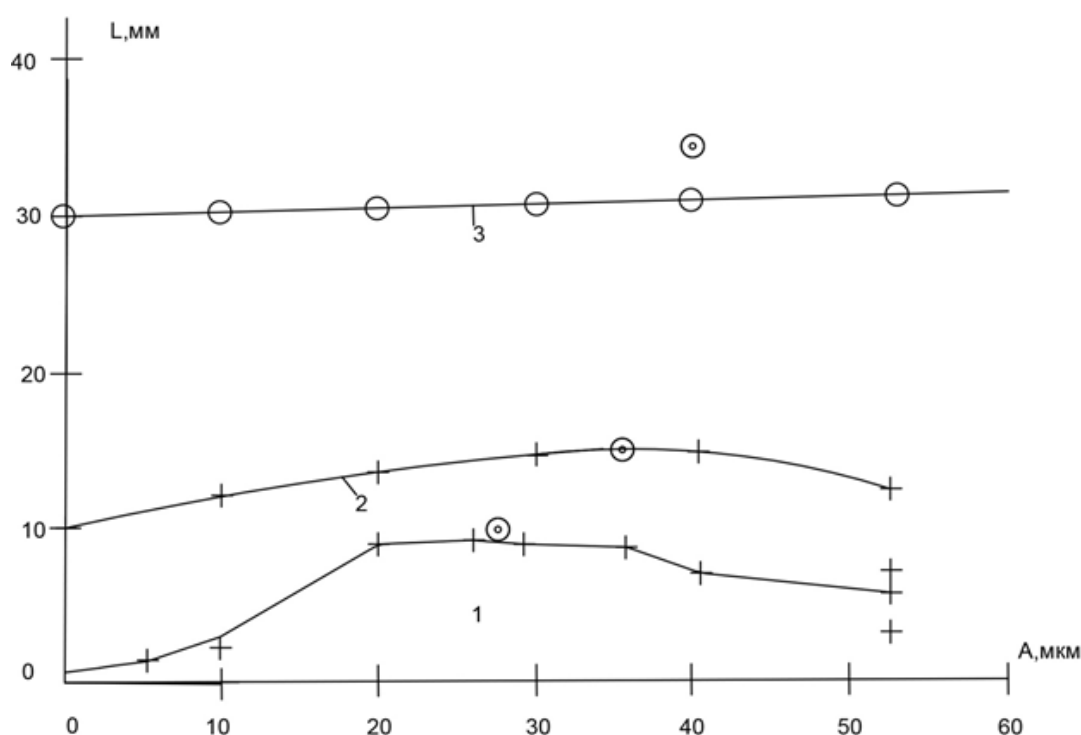


Рис. 3. Амплитуды ультразвуковых колебаний. Диаметр отверстия, мм:
 1 – 0,3 мм; 2 – 1 мм; 3 – 3 мм

При проведении экспериментов регулирование настройки амплитуды выполнялось через изменение частоты импульсов с использованием прозрачных моделей с узкими пазами и имеющих ширину, равную диаметру вставки. Для каждого диаметра находилась настроечная зависимость типа приведенной на рис. 4 для диапазона диаметров вставки 0,25...0,45 мм при использовании рабочей среды со степенью загрязнения по массе продуктами обработки 30...35%. По результатам экспериментальных исследований можно сделать выводы, что наблюдается снижение изменения частоты импульса, если увеличивать диаметр вставки более чем на 3 мм, а также при уменьшении степени загрязненности рабочей среды. Таким образом, снижение глубины отверстия достигается за счет удаления вставки. Это позволяет управлять процессом массовыноса через амплитуду колебаний и назначить технологические режимы получения отверстий в керамических форсунках при использовании комбинированной обработки.

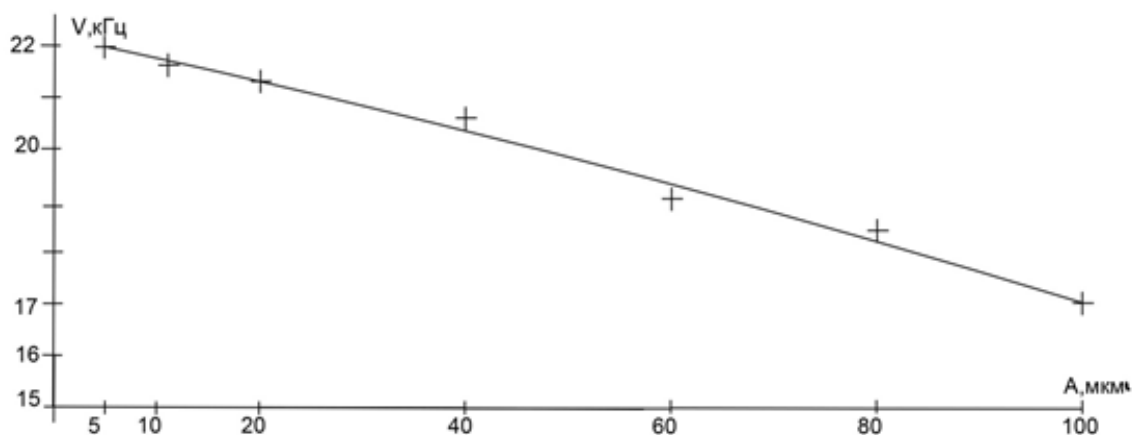


Рис. 4. Амплитуда ультразвуковых импульсов и их частоты при промывке узких пазов

Есть зависимость массовыноса продуктов обработки и вязкости рабочей среды. При этом вязкость возрастает по мере съема материала вставки или углубления канала, если не учитывать массовынос. Для эффективного массовыноса продуктов обработки при комбинированных методах обработки звуковое давление должно быть достаточным для преодоления гравитационных сил, действующих на продукты обработки, образовавшиеся в период между соседними импульсами ультразвукового луча, проходящего через отверстие в электроде-инструменте 1 (рис. 2). Концентрация продуктов обработки, которые имеют плотность продуктов обработки $2,8 \cdot 10^{-3}$ г/мм³, как предельно допустимую, может составлять по объему не более 5%. Амплитуда смещения излучателя может принимать значения в интервале от нескольких до 20...30 мкм. При назначении технологического режима ультразвуковой составляющей процесса комбинированной обработки это условие можно принять граничным.

Ультразвуковое воздействие интенсифицирует комбинированный процесс локального растворения металлических технологических вставок в каналах керамических форсунок с различным профилем и обеспечивает массовынос продуктов обработки из глубоких отверстий малого сечения. При этом эффективность ультразвуковой интенсификации процесса снижается по мере увеличения площади проходного сечения канала, и наибольший эффект комбинированная обработка имеет при изготовлении каналов, применяемых в керамических форсунках. В результате можно сказать, что целесообразно использовать керамические форсунки при соблюдении технологичности их изготовления с использованием высокочастотных воздействий при комбинированных способах обработки.

Список использованных источников

1. Научно-технические технологии в машиностроении / под ред. А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2012. – 528 с.
2. Смоленцев, В. П. Область рационального использования нетрадиционных технологий для повышения качества и надежности изделий / В. П. Смоленцев, С. В. Сафонов // Справочник. Инженерный журнал. – 2019. – № 4.

3. Салтанаева, Е. А. Технология комбинированной обработки рабочего канала в высокоресурсных форсунках из минералокерамических материалов / Е. А. Салтанаева, С. В. Сафонов, О. В. Скрыгин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15, № 1. – С. 91 – 95.

4. Приходько, В. М. Ультразвуковая технология в машиностроении : монография / В. М. Приходько ; под ред. А. Г. Суслова // Научные технологии в машиностроении. – М. : Машиностроение, 2012. – 528 с.

5. Приходько, В. М. Ультразвуковые технологии при производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники / В. М. Приходько. – М. : Техполиграфцентр, 2003. – 253 с.

6. А. с. 944850 СССР, МКИ³ В 23 Р 1/00. Способ электрохимической обработки импульсами технологического тока / В. П. Смоленцев, Т. П. Литвин, В. А. Перов, А. В. Попов, В. М. Антипов (СССР). – № 2929828/25-08 ; заявл. 26.05.80 ; опубл. 23.07.82, Бюл. № 27.

7. Пат. 2581539 Российская Федерация, МПК В 21 J 5/00 (2006.01), В 22 F 3/00 (2006.01). Способ изготовления полости и отверстия в прессованной заготовке / Смоленцев В. П., Пишкова Н. В., Климова Г. Н. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный технический университет». – № 2014117424/02 ; заявл. 29.04.14 ; опубл. 20.04.16, Бюл. № 11.

8. Пат. 2537410 Российская Федерация, МПК В 23 Н 7/22 (2006.01), В 23 Н 9/14 (2006.01). Электрод-инструмент для прошивки отверстий / Смоленцев В.П. и др. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный технический университет». – № 2012140004/02 ; заявл. 18.09.12 ; опубл. 10.01.15, Бюл. № 1.

9. Салтанаева, Е. А. Изготовление отверстий в керамических форсунках системы подачи топлива энергетических установок / Е. А. Салтанаева, К. М. Газизуллин // Проблемы энергетики. – 2013. – № 11–12. – С. 68 – 76.

Г. М. Ахмадиев

(Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, Набережные Челны, Россия,
e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru)

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Аннотация. Настоящая работа относится к области машиностроения и металлургии, а именно к химико-термической обработке деталей из металлов и сплавов. Метод насыщения поверхностного слоя неметаллами или металлами может быть использован для поверхностного упрочнения деталей. Методология комбинированной химико-термической обработки деталей из металлов или сплавов включает нагрев деталей и активной рабочей среды при одновременном воздействии на скорость и глубину диффузионных процессов. Все это происходит путем возбуждения в деталях высокочастотных токов. Пороговое возбуждение высокочастотных токов осуществляют в поверхностных слоях на глубину насыщения легирующими химическими элементами. Технология обеспечивается способом получения необходимой глубины легирования поверхностных слоев металла при минимальных затратах времени и энергии.

Ключевые слова: комбинированная, технология, химико-термическая обработка, деталь, металл, сплав.

G. M. Akhmadiev

(Naberezhnye Chelny Institute (Branch) K(P)FU, Naberezhnye Chelny, Russia)

SCIENTIFIC BASES AND PRINCIPLES OF CHEMICAL AND THERMAL PROCESSING OF PARTS FROM METALS AND ALLOYS

Abstract. This work relates to the field of mechanical engineering and metallurgy, namely to the chemical-thermal treatment of parts from metals and alloys. The method of saturation of the surface layer with non-metals or metals and can be used for surface hardening of parts. The methodology of combined chemical-thermal treatment of parts made of metals or alloys involves heating parts and an active working medium while simultaneously affecting the speed and depth of diffusion processes. All this happens by exciting high-frequency currents in the details. The threshold excitation of high-frequency currents is carried out in the surface layers to a depth of saturation with alloying chemical elements. The technology is provided by the method of obtaining the necessary depth of alloying of the surface layers of the metal, with minimal time and energy.

Keywords: combined, technology, chemical-thermal treatment, part, metal, alloy.

Настоящая работа относится к области машиностроения и металлургии, именно к химико-термической обработке деталей из металлов и сплавов способом насыщения (легирования) поверхностного слоя неметаллами (углерод, азот, бор и др.) или металлами (цинк, хром, алюминий и др.). Предлагаемая технология может быть использована для поверхностного упрочнения деталей или придания им особых полезных целенаправленных свойств.

В настоящее время для химико-термической обработки используются различные виды энергии и различные среды, в которых происходит насыщение поверхностных слоев легирующими элементами. Процесс протекает в расплавах солей, в нагретых газах,

получаемых при сжигании углеводородного топлива, в твердых карбюризаторах, в вакууме или тлеющем разряде (ионное азотирование).

Все перечисленные способы имеют ряд недостатков:

- длительность процесса до 90 ч;
- недостаточная эффективная толщина диффузионного слоя (при борировании до 0,3 мм, при азотировании до 0,8 мм);
- существенное изменение свойств легированного слоя по толщине;
- большие энергозатраты.

Известны различные методы ускорения процессов и глубины химико-термической обработки: путем изменения режимов нагрева деталей, выбора сталей различного химического состава, изменения состава и свойств активной среды, применения двухступенчатого нагрева, изменения структуры материалов.

Такие технологические решения рассматриваются в различных источниках информации, но их применение не устраняет перечисленных недостатков [1, 2]

Известен способ ионного азотирования в тлеющем разряде, позволяющий сократить время процесса в 1,5–2 раза. Однако и в этом случае эффективная толщина упрочненного слоя для ряда деталей (коленчатые валы, распределительные валы двигателей внутреннего сгорания) не превышает 0,4 мм при цикле обработки до 40 ч [3].

В настоящее время сравнительно полезным по искомой проблеме по существу предлагаемой работы является способ химико-термической обработки при индукционном нагреве сталей в активной среде [4].

Уступающим технологическим элементом настоящей работы [4] является то, что ток высокой частоты используется только для нагрева деталей, частота тока выбирается из необходимости прогрева деталей на всю глубину, а не для воздействия на диффузионные процессы в поверхностном слое.

Применение такой технологии снижает возможности управления скоростью диффузионных процессов в поверхностных слоях деталей при больших мощностях высокочастотных установок с коэффициентом полезного действия менее 35%.

Все известные технологии химико-термической обработки требуют больших затрат энергии, так как эффективные способы управления скоростью процессов диффузии легирующих элементов в поверхностные слои металлов не разработаны.

Известные технологические приемы и способы химико-термической обработки деталей из металлов или сплавов не позволяют получать эффективную глубину легированного слоя, более 0,3...0,8 мм. Для деталей, работающих в условиях абразивного износа или подвергающихся обработке в ремонтные размеры (например, коленчатые валы двигателей), минимальная эффективная толщина легированного слоя составляет 1,5...2,0 мм. Эта задача для процессов азотирования, борирования известными способами не решается.

Целью настоящей работы является научно-методологическое обоснование химико-термической обработки деталей из металлов и сплавов.

Повышение толщины легированного слоя в предлагаемом способе достигается тем, что нагрев деталей и активной среды проводится любыми источниками энергии, а ток высокой частоты возбуждается только в поверхностных слоях на глубину необходимого легирования.

Сущность предлагаемой технологии, в частности химико-термической обработки деталей из металлов и сплавов, заключается в нагреве деталей и включении пороговой активной среды. Все технологические работы проводятся при одновременном воздействии на скорость и глубину диффузионных процессов высокочастотными токами, возбуждаемыми в поверхностных слоях на глубину насыщения легирующими химическими элементами.

Методология организации технологии химико-термической обработки деталей из металлов и сплавов может быть осуществлена следующим путем. В печь для азотирования в атмосфере аммиака помещают детали и проводят процесс азотации по известным технологиям. Одновременно в поверхностных слоях деталей возбуждаются высокочастотные токи путем прямого подключения к высокочастотному источнику электрического тока или методом электромагнитной индукции. Возникающие при этом в поверхностных слоях вихревые токи вызывают хаотичное перемещение не только электронов, но и ионов легирующих химических элементов, что ускоряет процессы диффузии на всю глубину проникновения тока. Скорость этих процессов зависит от плотности индуцируемых токов при химических явлениях, что обеспечивается их концентрацией в поверхностных слоях и выбором соответствующей частоты при минимальной мощности высокочастотных установок [5].

Заключение. Научной основой и методологическим принципом является комбинированная химико-термическая обработка деталей из металлов и сплавов, которая включает нагрев деталей и активной среды при одновременном воздействии на скорость и глубину диффузионных процессов путем возбуждения в деталях высокочастотных токов. Необходимо обратить внимание на то, что возбуждение высокочастотных токов надо проводить в поверхностных слоях на глубину насыщения легирующими химическими элементами [5].

Список использованных источников

1. Тылкин, М. А. Справочник термиста ремонтной службы / М. А. Тылкин. – М. : Металлургия, 1981.
2. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. Основы термической обработки : в 3-х т. Т. 11 / под ред. М. А. Бернштейна, А. Г. Рихштадта. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1983. – 368 с.
3. Развитие упрочняющей технологии коленчатых валов дизелей КАМАЗ / Н. Н. Светличный, З. А. Аюкин и др. // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 29 – 33.
4. Николаев, Е. Н. Термическая обработка металлов токами высокой частоты / Е. Н. Николаев, И. М. Коротин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1977. – С. 131.
5. Пат. (RU) № 2709563. Способ комбинированной химико-термической обработки деталей из металлов или сплавов / Щигарцов И. М., Морозова А. Ю. ; опубл. 18.12.2019, Бюл. № 35.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ НА МАГНЕТИТЕ

Аннотация. Работа относится к области гальванотехники и может быть использована для осаждения декоративных и технически функциональных покрытий на магнетит (Fe_3O_4). Технология включает восстановление поверхности магнетита до металла и нанесение металлопокрытия, при этом восстановление осуществляют катодной поляризацией магнетита в 1–3 М водном растворе NaOH или KOH при температуре раствора $t = 90\text{...}98\text{ }^\circ\text{C}$, плотности тока $i_k = 100\text{...}300\text{ A/m}^2$ в течение $\tau = 10\text{...}30$ мин. Вторым вариантом настоящей работы может быть технологический принцип, включающий восстановление поверхности магнетита до металла и нанесение металлопокрытия, причем восстановление осуществляют в атмосфере $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}_g$ при общем давлении газовой смеси $P_{\text{общ}} = 1$ атм, содержании водорода $[\text{H}_2] \geq 77\%$, температуре $t = 500\text{...}550\text{ }^\circ\text{C}$ в течение $\tau = 60\text{...}90$ мин [20]. Технический результат: увеличение прочности соединения металлопокрытия с магнетитом, которая достигает $72,1\text{ кг/м}^2$.

Ключевые слова: технология, магнетит, металлопокрытие, гальванопокрытие, водный раствор, NaOH, KOH, плотность тока, газовая смесь.

G. M. Akhmadiev

(Naberezhnye Chelny Institute (Branch) K(P)FU, Naberezhnye Chelny, Russia)

TECHNOLOGICAL BASES AND PRINCIPLES OF OBTAINING MAGNETIC ELECTRIC COATINGS

Abstract. The work relates to the field of electroplating and can be used to deposit decorative and technically functional coatings on magnetite (Fe_3O_4). The technology includes the restoration of the surface of magnetite to metal and the deposition of metal coatings, the reduction being carried out by cathodic polarization of magnetite in a 1–3 M NaOH or KOH aqueous solution at a solution temperature $t = 90\text{...}98\text{ }^\circ\text{C}$, current density $i_k = 100\text{...}300\text{ A/m}^2$ in flow $\tau = 10\text{...}30$ min. The second version of this work may be a technological principle, including the restoration of the surface of magnetite to a metal and the deposition of a metal coating, the reduction being carried out in an atmosphere of $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}_g$ at a total pressure of the gas mixture $R_{\text{oc}} = 1$ atm, hydrogen content $[\text{H}_2] \geq 77\%$, temperature $t = 500\text{...}550\text{ }^\circ\text{C}$ for $\tau = 60\text{...}90$ min [20]. Effect: increase the strength of the connection of metal coating with magnetite, which reaches 72.1 kg/m^2 .

Keywords: technology, magnetite, metal coating, electroplating, aqueous solution, NaOH, KOH, current density, gas mixture.

Введение. В настоящее время разработан способ получения металлопокрытий на твердых телах [1]. Технологически прочность сцепления с основой достигается обработкой, включающей профилирование поверхности химическим травлением и нанесением металлического покрытия различными методами.

Известен способ получения металлического покрытия на полупроводниковой поверхности [2] путем обработки поверхности восстановителями для придания ей нужных свойств и восстановления ионов металла покрытия, а также способ получения металлических покрытий на ферритах, керамике и ферритокерамике [3], где технический результат – повышение качества получаемых металлических покрытий (прочность соединения с основой), достигается многооперационной химической обработкой поверхности основы, включающей операцию сенсбилизации в усовершенствованном растворе.

Целью настоящей работы является разработка и анализ технологических основ и принципов получения гальванопокрытий на магнетите.

Наиболее близким техническим решением является способ получения прочно сцепленных гальванических покрытий на магнетите [4], где перед нанесением покрытий осуществляют катодную поляризацию магнетита в растворе серной или фосфорной кислоты при потенциостатических условиях в интервале 0,3...0,5 В (н.в.э.) с последующей гальваностатической анодной обработкой при плотностях тока 30...320 А/м².

Известно [5, 6], что гальванопокрытия могут иметь высокую прочность сцепления с металлическим железом. Соединение оксида железа с восстановленным железом является когерентным [7], поэтому такой контакт обладает высокой прочностью.

Восстановление поверхности магнетита достигается одним из следующих методов:

- электрохимическим методом, катодная поляризация в щелочной водной среде ($\text{pH} \geq 13 \dots 14$) [8, 9];
- химическим методом, контакт с восстановительной газовой атмосферой, на основе водорода [7, 10].

При катодном восстановлении на оксидной поверхности образуется металлическое железо в двух формах – компактное, хорошо сцепленное с оксидом и железо в виде рыхлого слоя, легко удаляемого. Процесс необходимо вести при температуре 90...100 °С [9], что способствует уменьшению образования рыхлого железа.

Химическое восстановление магнетита осуществляется в восстановительной атмосфере $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}_g$ [7, 10].

Процесс протекает с диффузионным контролем, из-за отсутствия промежуточной фазы FeO скорость образования Fe выше, чем при $t > 565$ °С [10, 11].

В контрольных экспериментах использовали магнетит состава, близкого к стехиометрическому, выплавленный по известной технологии [12]. Образцы были выполнены в форме цилиндра, торцевые части которого служили для осуществления токоподвода и получения исследуемого соединения. При изготовлении электродов применялась разработанная ранее технология [13].

Электрохимическое восстановление поверхности магнетита осуществлялось катодной поляризацией рабочей поверхности электродов в водном горячем растворе щелочи. Химическое восстановление достигалось при температуре < 565 °С во время контакта магнетитовых образцов с газовой атмосферой ($P_{\text{общ}} = 1$ атм), содержащей 80% H_2 . Гальванические покрытия меди и никеля толщиной 50 мкм наносили из стандартных электролитов [14 – 16].

Меднение осуществлялось в два этапа. Сначала наносили подслои меди толщиной 5 мкм из цианидного электролита, а затем его наращивали из сернокислого электролита. Прочность соединения металлопокрытия с магнетитом оценивалась по методу Олларда [17] с помощью разрывной машины ZE-400.

Заключение. Таким образом, технологические основы и принципы получения гальванопокрытий на магнетите включают восстановление поверхности магнетита до металла и нанесение металлопокрытия [20].

Восстановление поверхности магнетита до металла осуществляют катодной поляризацией магнетита в 1–3 М водном растворе NaOH или KOH при температуре раствора $t = 90 \dots 98$ °С, плотности тока $i_k = 100 \dots 300$ А/м² в течение $\tau = 10 \dots 30$ мин. Вторым вариантом может быть способ получения гальванического металлопокрытия на поверхности магнетита, включает восстановление поверхности магнетита до металла и нанесение металлопокрытия. А восстановление поверхности магнетита до металла осуществляют в атмосфере $H_2 + H_2O_T$ при общем давлении газовой смеси $P_{общ} = 1$ атм, содержании водорода $[H_2] \geq 77\%$, температуре $t = 500 \dots 550$ °С в течение $\tau = 60 \dots 90$ мин [20].

Список использованных источников

1. Pat. DE 3332029 (A1). Process for coating a solid / Ostwald R. – 22.03.1984.
2. Pat. US 4419390 (A). Method for rendering non-platable semiconductor substrates platable / Feldstein N. – 06.12.1983.
3. Пат. RU 2212471. Способ получения металлических покрытий на ферритах, керамике и ферритокерамике / Симунова С. С., Лапенкова Н. И. ; опубл. 20.09.2003.
4. Пат. RU 2280108. Способ получения прочно сцепленных гальванических покрытий на магнетите / Хоришко Б. А., Давыдов А. Д., Иванова О. В. и др. ; опубл. 20.07.06.
5. Кудрявцев, Н. Т. Электролитические покрытия металлами / Н. Т. Кудрявцев. – М. : Химия, 1979. – 351 с.
6. Пат. RU 2389829. Способ получения прочно сцепленных покрытий на основе никеля на металлических деталях / Григорьева Л. Г., Минина К. Н., Нефедов П. В. ; опубл. 09.08.2010.
7. Есин, О. А. Физическая химия пирометаллургических процессов / О. А. Есин, П. В. Гельд. – М. : Metallurgia. 1966. – Ч. 1. – 703 с.
8. Сухотин, А. М. Физическая химия пассивирующих пленок на железе / А. М. Сухотин. – Л. : Химия, 1989. – 320 с.
9. Беккерт, М. Справочник по металлографическому травлению / М. Беккерт. – М. : Metallurgia, 1979. – 335 с.
10. Хауффе, К. Реакции в твердых телах и на их поверхностях / К. Хауффе ; пер. с нем. А. Б. Шехтора. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1962. – Ч. 2. – 276 с.
11. Woods, S. E. The reduction of oxides of iron as a diffusion controlled reaction / S. E. Woods // Disc. Farad. Soc. – 1948. – V. 4. – P. 184 – 193.
12. Пат. RU 2280712. Способ получения литого магнетита / Хоришко Б. А., Марценко К. Н., Давыдов А. Д. и др. ; опубл. 27.07.2006.

13. Пат. RU 62607. Электрод и форма для его изготовления / Хоришко Б. А., Давыдов А. Д., Хоришко С. А. и др. ; опубл. 27.04.2007.
14. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Д. Гамбург. – М. : Техносфера, 2006. – 216 с.
15. Мельников, П. С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П. С. Мельников. – М. : Машиностроение, 1991. – 384 с.
16. Справочник по электрохимии / под ред. А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1981. – 488 с.
17. Справочное руководство по гальванотехнике / пер. с нем. Н. Б. Сциборовской ; под ред. В. И. Лайнера. – М. : Металлургия, 1972. – Ч. 3. – 424 с.
18. Физико-химические свойства оксидов : справочник / под ред. Г. В. Самсонова. – М. : Металлургия, 1978. – 472 с.
19. Краткий справочник гальванотехника / А. М. Ямпольский и др. – Л. : Машгиз, 1962 – 244 с.
20. Пат. RU 2655481. Способ получения гальванопокрытий на магнетите ; опубл. 28.05.2018, Бюл. № 16.

В. В. Иванов, С. И. Попов, Н. С. Донцов

(Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия)

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. Приведена классификация вибрационных механохимических покрытий по уровню энергетического воздействия, что позволяет исключить или уменьшить погрешность при установлении технологических параметров для каждого вида покрытий.

Научно обоснованы и решены технические и технологические задачи нанесения вибрационных механохимических покрытий.

Ключевые слова: технологические процессы, вибрационные механохимические покрытия.

V. V. Ivanov, S. I. Popov, N. S. Dontsov

(Don State Technical University, Rostov-on-don, Russia)

CLASSIFICATION OF VIBRATION MECHANO-CHEMICAL PROCESSES OF FORMATION OF COVERINGS

Abstract. The classification of vibrational mechanochemical coatings according to the level of energy impact is given, which makes it possible to exclude or reduce the error in determining the technological parameters for each type of coating. The technical and technological problems of applying vibrational mechanochemical coatings are scientifically substantiated and solved.

Keywords: technological processes, mechanical vibration of the coating.

Поверхностная обработка деталей машин и одновременное нанесение покрытий с каждым годом находят все более широкое и разностороннее применение в промышленности. Это обусловлено рядом основных причин, прежде всего это изменение условий эксплуатации, создание новых видов изделий и материалов, что требует применения нестандартных технологических решений. При этом немаловажную роль в современных условиях играют экономические показатели и экологичность процессов.

В настоящее время большой интерес у специалистов различных отраслей промышленности вызывают вопросы механохимических методов обработки. Новейшие разработки исследований в области механохимии достаточно широко освещены в литературных источниках и используются в создании новых технологий в области физики, химии твердого тела, кинетики твердофазных реакций, теории строения материалов, синтезе неорганических веществ. Работы ведущих научных школ в области механохимии (Новосибирска, Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова н/Д, Воронежа, др.) легли в основу создания механохимических методов обработки (МХМО).

Одним из перспективных направлений комбинированных методов обработки являются вибрационные механохимические покрытия (ВиМХП). Важная роль при их формировании отводится механической и химической составляющей процесса. Учитывая, что вибрационная обработка дает возможность управления механической составляющей процесса в достаточно широком диапазоне частот и инициирует химические процессы, происходящие на поверхности металла, применение этих технологий послужило основанием для создания на поверхности деталей покрытий различного вида и назначения. Однако проблема использования виброволновых процессов непосредственно для получения вибрационных механохимических покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами далеко не решена и требует своего методологического подхода, обеспечивающего качественный скачок в этой области. К основным проблемам можно отнести:

- трудности с обеспечением заданных размеров на микро/наноуровне с учетом структуры и свойств их поверхностного слоя при формировании покрытий;
- недостаточный учет влияния механохимических факторов на физику процессов при микро/наномасштабе явлений;
- не решена проблема наводороживания поверхностного слоя для некоторых видов покрытий;
- недостаточно полно решена проблема при учете энергетических составляющих процесса в модифицированном локальном микрообъеме на границе раздела «покрытие–подложка»;
- недостаточно полно решена задача по учету энергии адгезии и прочности сцепления «покрытие–подложка».

Надо отметить, что каждый вид покрытия имеет свои физико-химические свойства и формируется по законам, присущим только ему. Поэтому раскрытие физической сущности протекания процесса и практическая целесообразность в каждом конкретном случае требуют дополнительных исследований. Большое число переменных факторов осложняют оптимизацию процессов формирования (ВиМХП).

Отсутствие обобщающей методики, координирующей уровень механических воздействий и кинетических особенностей формирования и качества покрытий, сдерживает широкое их распространение.

Мало изучены кинетические факторы, определяющие механохимические процессы при формировании покрытий. Отсутствие классификации вибрационных механохимических покрытий также негативно сказывается на развитии данного направления. Надо отметить, что в настоящее время методы исследования структуры и свойств поверхностного слоя покрытий все же в основном остаются статическими и не позволяют оценить, что происходит во время работы покрытия, когда изменяются условия эксплуатации.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований легли в основу разработки рациональных режимов формирования вибрационных механохимических покрытий, обеспечивающих достижения эксплуатационных свойств на уровне лучших мировых аналогов. В проведенных исследованиях значительное внимание

уделено механохимическим и энергетическим процессам, оказывающим значительное влияние на образование качественных покрытий, их структуру, равномерность распределения по поверхности, пористость, прочность сцепления и другие функциональные свойства, отвечающие требованиям нормативной документации.

Выполненные в настоящей работе исследования показали принципиальную возможность решения основной проблемы повышения качества и конкурентоспособности покрытий, сформированных в условиях виброволнового воздействия с одновременным снижением затрат на производство. Разработанные вибрационные механохимические цинковое, оксидное, твердосмазочное покрытия показали высокие эксплуатационные свойства по сравнению с традиционными покрытиями.

Исходя из функционального назначения обрабатываемых поверхностей деталей машин, предложено классифицировать ВиМХП на 3 группы с разделением каждой на однокомпонентные, многокомпонентные, многокомпонентные композиционные, в качестве критерия разделения брать формообразование покрытия на поверхности металла (рис. 1).



Рис. 1. Классификация вибрационных механохимических покрытий

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Проведена классификация ВиМХП по уровню энергетического воздействия, что позволяет исключить или уменьшить погрешность при установлении технологических параметров для каждого вида покрытий.

2. Определено энергетическое условие модификации поверхностного слоя и формирования вибрационных покрытий, разработаны модели их формирования. Анализ механохимических процессов, протекающих при нанесении ВиМХП, показал, что во всех случаях механическая энергия инициирует химические реакции, тепловые и обменные процессы, а также ускоряет образование и рост покрытия за счет механического воздействия и конвекционных потоков, увеличивающих концентрацию активных ингредиентов в граничном слое. Эти выводы согласуются с теорией Гиббса и уравнением Нернста.

3. Механическая энергия при ВиМХО инициирует химические реакции, тепловые и обменные процессы, а также ускоряет образование и рост покрытия. Впервые установлена и экспериментально доказана корреляционная связь между физическими свойствами контактирующих материалов, степенью их взаимного влияния, факторами механического воздействия и качеством ВиМХП. Впервые определен каталитический характер процесса, что подтверждается высокой адсорбцией, активацией, миграцией заряженных частиц, полем микроэлементов, возрастанием доли успешных столкновений при формировании ВиМХП.

4. Установлено, что в поверхностном слое на микро/наноуровне в результате вибрационного воздействия формируются структуры меньше 100 нм. В результате исследований морфологии и профиля поверхности было установлено, что для твердосмазочных покрытий измельчение порошка до 60 нм позволяет внедрить дисульфид молибдена в микро- и нанополости поверхности, тем самым обеспечивается повышенная адгезионная способность и долговечность покрытия.

5. Научно обоснованы и решены технические и технологические задачи нанесения вибрационных механохимических покрытий за счет разработанной методологии, алгоритма и программы выбора методов и режимов обработки, обеспечивающих требуемые параметры качества покрытия с учетом их функционального назначения с минимальной себестоимостью.

6. Выявлены технологические критерии, изменение которых отражается на показателях качества покрываемой детали. К ним относятся амплитуда и частота колебаний, размер и материал рабочих сред, количество и концентрация рабочих растворов.

7. Разработаны технологические процессы нанесения ВиМХП на различные типы деталей.

8. Установлено преимущество ВиМХП по сравнению с традиционными технологическими процессами нанесения покрытий:

– **первая группа.** Сокращены три операции по сравнению с тех. процессом традиционным (механическое нанесение кистью или краскопультом). Сравнение данных испытаний с нормами средней стойкости показывает, что увеличение стойкости обработанных деталей составляет 28%;

– **вторая группа.** Сокращены такие операции, как химическое и электрохимическое обезжиривание, а также активация детали – в традиционном гальваническом процессе совмещаются и протекают одновременно при ВиМХП. Также одним из преимуществ является то, что детали не нуждаются в подготовке поверхности под покрытие с помощью кислот, следовательно, полностью исключается водородная хрупкость покрытия;

– **третья группа.** За счет повышенной активности обрабатываемой поверхности и компонентов технологической жидкости возможно исключить из технологического цикла операции подготовки поверхности деталей под покрытие (обезжиривание, травление, осветление, промывки горячие и холодные, 7 единиц оборудования). При этом снижаются затраты производства на оборудование, исключаются затраты на обслуживание подготовительных операций и стоимость материалов для приготовления и эксплуатации растворов.

Список использованных источников

1. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
2. Вибрационная механохимия в процессах отделочно-упрочняющей обработки и покрытий деталей машин / А. П. Бабичев, В. В. Иванов, Шудалей и др. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2012. – С. 204.
3. Ivanov V. V., Lebedev V. A., Pinahin I. A. Improving Wear Resistance of Surface by Depositing Vibrational Vechanochemical MoS₂ Coating // Jornal of Friction and Wear. – 2014. – V. 35, No. 4 ISSN 1068-3666. – P. 339 – 342.

Ю. М. Зубарев, М. А. Афанасенков

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: iuzubarev@mail.ru, afanasenkov.mi@yandex.ru)

**ПОДБОР МОДИФИЦИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНЫХ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ
ИНСТРУМЕНТОВ**

Аннотация. В статье приведена методика выбора модифицирующих элементов для формирования поверхностных слоев металлообрабатывающих инструментов в целях обеспечения заданных свойств получаемых покрытий.

Ключевые слова: модифицирующий элемент, металлообрабатывающий инструмент, поверхностный слой, конфигурационная модель вещества, статистический вес, легирующий элемент.

Yu. M. Zubarev, M. A. Afanasenkov

(Saint-Petersburg State Marine Technical University, Saint-Petersburg, Russia)

**SELECTION OF MODIFYING ELEMENTS TO ENSURE THE FORMATION
OF SPECIFIED PROPERTIES OF FUNCTIONAL SURFACE LAYERS
OF METALWORKING TOOLS**

Abstract. The article presents a method for selecting modifying elements for forming surface layers of metalworking tools in order to ensure the specified properties of the resulting coatings.

Keywords: modifying element, metal cutting tools, surface layer, a configuration model of matter, the statistical weight, alloying element.

Улучшение эксплуатационных характеристик металлообрабатывающих инструментов является одним из основных направлений повышения ресурса и надежности их работы. Основные и наиболее важные эксплуатационные показатели работоспособности инструментов в значительной степени определяются качеством их поверхностных слоев. Потому формирование высококачественного слоя на поверхности режущей части инструмента является наиболее эффективным средством повышения его работоспособности.

Изучение условий эксплуатации инструментов и закономерностей процессов, происходящих на их контактных поверхностях, позволило предложить концепцию рационального выбора структуры и состава модифицированного поверхностного слоя, что позволило проводить первоначальный отбор элементов и соединений по их свойствам, при этом, выделяя те из них, что определяют заданные или желаемые эксплуатационные характеристики инструментов. К числу обеспечиваемых свойств относятся прочность, пластичность, твердость, теплопроводность и адгезия с контактирующим материалом.

В основе теории взаимодействия модифицирующих элементов и материала основы заложен механизм, основанный на анализе эволюции конфигурационной модели вещества и описывающий взаимодействие их электронных структур. Конфигурационная модель вещества позволяет объяснять закономерности изменения свойств материалов и их сплавов при изменении содержания компонентов, образующих материалы, а также прогнозировать свойства вещества в зависимости от его химического состава [1].

Для оценки физико-механических свойств материалов с помощью конфигурационной модели вещества необходимо рассмотреть структуры внешних электронных оболочек элементов, образующих материал изделия. Главным определяющим понятием конфигурационной модели является статистический вес атомов со стабильными электронными конфигурациями (СВАСК), которыми, например, для переходных металлов являются d^0 , d^5 и d^{10} , для s- и p-элементов – sp^3 и s^2p^6 . Основные физико-химические свойства материалов (прочность, пластичность) зависят от соотношения статистических весов (долей) атомов с различными стабильными конфигурациями. Легирующие элементы приводят к перераспределению СВАСК'ов в материале изделия, что в свою очередь, изменяет физико-механические характеристики сплава [2].

Стабильные электронные конфигурации у атомов возникают в зависимости от количества внешних валентных электронов. Так, если атом в изолированном состоянии имеет один d-электрон, то велика вероятность того, что он его отдаст для создания СВАСК'ов d^5 или d^{10} , а у ионного остова появиться СВАСК d^0 . При дальнейшем рассмотрении элементов периодической системы Д. И. Менделеева в данной подгруппе с увеличением их порядкового номера растет количество d-электронов от одного до десяти и, соответственно, вероятность возникновения d^0 -состояния уменьшается, а возможность появления d^5 -стабильного состояния увеличивается. При числе внешних электронов больше пяти повышается вероятность образования d^{10} -стабильной конфигурации. Основные параметры электронной структуры ряда элементов, наиболее часто используемых в качестве модифицирующих, приведены в табл. 1.

Входящие в состав металло- и минераллокерамик тугоплавкие соединения WC, TiC, TiN и Al_2O_3 определяют их свойства. Соединение Al_2O_3 состоит из алюминия с конфигурацией электронов s^2p^1 и кислорода с конфигурацией s^2p^4 . Возникающая за счет перехода к кислороду электронов металла конфигурация, вследствие стремления его к достройке до стабильного состояния s^2p^6 , определяет устойчивость системы к температурным воздействиям. Карбиды и нитриды имеют высокие СВАСК'и sp^3 , а также d^5 -конфигурации за счет вольфрама и титана. Это объясняет их твердость и хрупкость. С понижением доли sp^3 и d^5 -конфигураций, при учете связки – кобальта с высоким СВАСК d^{10} на границах зерен, происходит некоторое повышение прочности и твердости за счет повышения пластичности материала. Кроме того, к увеличению пластичности приводит возрастание концентрации коллективизированных d^{10} электронов, которые, обеспечивая типичную металлическую связь, определяют пластические свойства сплава [3].

**1. Статистические веса стабильных электронных конфигураций
в переходных металлах**

Металл	Конфигурация валентных электронов изолированного атома	Степень локализации электронов в металле				Статистические веса стабильных конфигураций		
		Количество электронов, локализованных в d^5 -конфигурации	Количество электронов, локализованных в d^{10} -конфигурации	Общее количество локализованных электронов	Количество коллективизированных электронов	d^0	d^5	d^{10}
Sc	$3d^14s^2$	0,8	4	0,8	2,2	84	16	0
Ti	$3d^24s^2$	2,2	0	2,2	1,8	57	43	0
V	$3d^34s^2$	3,2	0	3,2	1,8	37	63	0
Cr	$3d^54s^1$	3,5	0	3,5	2,5	27	73	0
Fe	$3d^64s^2$	2,7	4,6	7,3	0,7	0	54	46
Co	$3d^74s^2$	1,4	7,2	8,6	0,4	0	28	72
Ni	$3d^84s^2$	0,6	8,8	9,4	0,6	0	12	88
Cu	$3d^{10}4s^1$	0,4	9,2	9,6	1,4	0	8	92
Y	$4d^15s^2$	1,4	0	1,4	1,6	73	27	0
Zr	$4d^25s^2$	2,6	0	2,6	1,4	48	52	0
Nb	$4d^45s^1$	3,8	0	3,8	1,2	24	76	0
Mo	$4d^55s^1$	4,5	0	4,5	1,5	12	88	0
Ru	$4d^75s^1$	4,0	2,0	6,0	2,0	0	80	20
Rh	$4d^85s^1$	3,0	4,0	7,0	2,0	0	60	40
Pd	$4d^{10}5s^0$	0,9	8,2	9,1	0,9	0	18	82
Ag	$4d^{10}5s^1$	0,2	9,6	9,8	1,2	0	4	96
La	$5d^16s^2$	1,2	0	1,2	1,8	76	24	0
Hf	$5d^26s^2$	2,7	0	2,7	1,3	45	55	0
Ta	$5d^36s^2$	4,1	0	4,1	0,9	19	81	0
W	$5d^46s^2$	4,8	0	4,8	0,2	4	96	0
Re	$5d^56s^2$	4,7	0,6	5,3	1,7	0	94	6
Os	$5d^66s^2$	4,2	1,6	5,8	2,2	0	84	16
Ir	$5d^76s^2$	3,4	3,2	6,6	2,4	0	68	32
Pt	$5d^96s^1$	2,0	6,0	8,0	2,0	0	40	60

Приведенные рассуждения позволяют определить прочностные и пластические свойства инструментального материала. Для достижения цели применения концепции оценки направления эволюции диссипативной системы «материал основы–модифицирующие элементы», которая базируется на предположении, что химические элементы стремятся занять энергетически выгодные положения, определяющие общий минимум энергии системы, изменяя соотношения долей стабильных электронных конфигураций за счет электронов внедренных модифицирующих элементов, можно управлять свойствами поверхностных слоев инструментов, такими как твердость, прочность, пластичность и др.

Для оценки изменения статистического веса (доли) i -й стабильной электронной конфигурации в системе «материал основы–модифицирующие элементы» можно использовать выражение [4]

$$P_X^i = \frac{m_{M0}P_{M0}^i + m_{MЭ}P_{MЭ}^i}{m_{M0} + m_{MЭ}}, \quad \% \quad (1)$$

где P_X^i – статистический вес (доля) i -й стабильной электронной конфигурации системы «материал основы–модифицирующие элементы»; m_{M0} и $m_{MЭ}$ – атомные веса элемента основы и модифицирующего химического элемента; P_{M0}^i и $P_{MЭ}^i$ – статистические веса (доли) i -й стабильной электронной конфигурации элемента основы и модифицирующего элемента, в процентах.

На основе формулы (1) можно вывести корреляционные зависимости, оценивающие влияние элементов периодической системы, наиболее часто применяемых для модификации поверхности материалов, на увеличение или уменьшение доли стабильных конфигураций (в процентах) у кобальта – связки металлокерамических твердых сплавов.

Доли (веса) стабильных электронных конфигураций d^5 , отвечающих за прочность, у кобальта – 28%, из всех валентных электронов. Пластичность зависит от числа конфигураций d^{10} , которых у кобальта – 72%. Ниже приведены зависимости, оценивающие изменение долей конфигураций d^5 и d^{10} в процентах для кобальта, при модификации последних рядов элементов IV – VI групп периодической системы элементов:

$$\begin{aligned} \Delta d_{Co}^5 = & 6,73C_{Ti} + 16,23C_V + 21,09C_{Cr} + 12,65C_{Fe} + 14,58C_{Zr} + \\ & + 29,37C_{Nb} + 37,16C_{Mo} + 32,84C_{Ru} + 20,35C_{Rh} + 20,3C_{Hf} + \\ & + 39,98C_{Ta} + 51,49C_W + 50,13C_{Re} + 42,75C_{Os} + 30,61C_{Ir} - \\ & - (7,98C_{Ni} + 10,38C_{Cu} + 6,44C_{Pd} + 15,52C_{Ag} + 2,81C_{La}); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta d_{Co}^{10} = & 7,98C_{Ni} + 10,38C_{Cu} + 6,44C_{Pd} + 15,52C_{Ag} + 13,85C_{Au} - \\ & - (32,28C_{Ti} + 33,38C_V + 33,75C_{Cr} + 12,65C_{Fe} + 43,74C_{Zr} + \\ & + 44,60C_{Mo} + 54,08C_{Ta} + 54,29C_W + 9,22C_{Pt}), \end{aligned} \quad (3)$$

где C_i – атомная концентрация i -го модифицирующего элемента, в процентах.

2. «Отвердители» и «пластификаторы» для твердых сплавов

Материал	«Отвердители»	«Пластификаторы»
Твердые сплавы	Ti, V, Cr, Fe, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir	Ni, Cu, Pd, Ag, Au

Увеличение долей соответствующих стабильных конфигураций указывает на повышение прочности и пластичности, уменьшение – на снижение этих свойств. Используя выражения (1) – (3), определяем «отвердители» и «пластификаторы» для инструментальных материалов, которые представлены в табл. 2 [5].

Данные рекомендации по выбору модифицирующих элементов можно широко использовать в процессах упрочнения, обусловленных поверхностным легированием материалов изделий.

Основные результаты

В статье приведена методика, использующая конфигурационную модель вещества, описывающая взаимодействие электронных структур, которая позволяет осуществить подбор элементов для формирования функциональных слоев инструментов с заданными свойствами. Приведены корреляционные зависимости, оценивающие влияние элементов, наиболее часто применяемых для модификации поверхности инструментальных материалов.

Список использованных источников

1. Зубарев, Ю. М. Современные инструментальные материалы / Ю. М. Зубарев. – СПб. : Изд-во «Лань», 2014. – 304 с.
2. Зубарев, Ю. М. Выбор модифицирующих элементов для направления свойств функциональных барьерных подслоев поверхностного слоя инструментального материала / Ю. М. Зубарев, А. И. Круглов, М. А. Афанасенков // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та, Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – Волгоград : Изд-во Волг ГТУ, 2015. – Т. 14, № 11(173). – С. 18 – 20.
3. Технология обработки с использованием потоков высокоэнергетических частиц / И. А. Сенчило, Ю. М. Зубарев, А. Ф. Бабошкин и др. – СПб. : Изд-во ПИМаш, 2004. – 116 с.
4. Зубарев, Ю. М. Ионно-вакуумная модификация – эффективный метод повышения эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента / Ю. М. Зубарев, А. И. Круглов, М. А. Афанасенков // Инновации на транспорте и в машиностроении. Т. 3 : Технологические процессы в машиностроении; под ред. В. В. Максарова. – СПб. : НМСУ «Горный», 2015. – С. 5 – 9.
5. Зубарев, Ю. М. Экспериментальные данные по влиянию ионно-вакуумной модификации на работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности при растачивании отверстий / Ю. М. Зубарев, А. И. Круглов, М. А. Афанасенков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. – № 21(148) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении», Вып. 12). – С. 14 – 16.

М. Ю. Карелина, Б. А. Кудряшов, А. А. Нечай, Н. В. Левушкина, А. В. Сухов
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, e-mail: sukhov-aleksandr96@mail.ru)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОЮЩИХ СРЕДСТВ, ОБРАБОТАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОМ, В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены недостатки процесса мойки изделий машиностроения. Определены основные пути снижения негативного влияния данных недостатков. Рассмотрены результаты влияния ультразвука на процесс мойки изделий машиностроения.

Ключевые слова: ультразвук, мойка, пенообразование, ультразвуковое пенообразование, ультразвуковая очистка.

M. Yu. Karelina, B. A. Kudryashov, A. A. Nechaj, N. V. Levushkina, A. V. Sukhov
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia)

PROSPECTS OF APPLICATION DETERGENTS PROCESSED BY ULTRASONIC IN MECHANICAL ENGINEERING

Abstract. The disadvantages of the process of washing mechanical engineering products are considered. The main ways to reduce the negative impact of these shortcomings have been identified. The results of the influence of ultrasound on the washing process of mechanical engineering products are considered.

Keywords: ultrasound, washing, foaming, ultrasonic foaming, ultrasonic cleaning.

В настоящий момент при производстве и ремонте изделий машиностроения к качеству получаемых изделий применяются высокие требования. При ремонте качество и полнота ремонтных работ обусловлены в том числе качеством дефектовки изделия, для чего после разборки машины или оборудования сборочные единицы и отдельные детали должны быть очищены и промыты от грязи, стружки, посторонних частиц, нагара, смазки, охлаждающей жидкости в целях выявления дефектов, улучшения санитарных условий ремонта, а также для подготовки деталей к операциям восстановления и окраски. При производстве изделий машиностроения процесс очистки также обусловлен необходимостью получения качества изделия. Поскольку при механической обработке необходимо соблюдать заранее заданные параметры обработки, используются различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), которые после механической обработки остаются на поверхности изделия. При смене вида обработки

необходимо очистить изделие от СОЖ, для чего используются специальные моечные установки, которые также используются для очистки изделий от различных смазывающих веществ.

Мойка изделий машиностроения в большинстве случаев проводится с использованием специальных моющих средств на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые разбавляются водой в определенном соотношении [1]. Однако, несмотря на эффективное удаление загрязнений, применяемые ПАВ негативно влияют на экологию за счет сбросов в сточные воды, при этом существующие методы очистки сточных вод направлены, в основном, на удаление взвешенных частиц и нефтепродуктов, в связи с чем удаление ПАВ из сточных вод проводится неэффективно. Для снижения негативного влияния на экологию предлагается применение ультразвука в мойке деталей машиностроения на этапах распыления моющего средства и пенообразования, если моющее средство применяется в виде пены.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет повысить свойства обрабатываемых жидкостей за счет различных эффектов. Основное влияние оказывают эффекты механической природы: кавитация, переменное звуковое давление, радиационное давление и акустические потоки. Они вызывают такие процессы, как нагревание, перемешивание, диспергирование, коагуляция, окисление, ускорение химических реакций и ряд других [2].

Ранее были проведены исследования эффективности применения ультразвука на этапе пенообразования для мойки автомобилей. В статье [3] представлены результаты исследований по влиянию режимов ультразвуковой обработки на процесс пенообразования. В результате ультразвуковой обработки образуется высокодисперсная пена, обладающая высокой устойчивостью. Это повысит эффективность взаимодействия с загрязнениями, так как за счет меньшего размера пузырьков, такая пена эффективнее проникает вглубь загрязнений, расщепляя их изнутри. Данный способ приготовления отличается отсутствием необходимости подвода сжатого воздуха, процесс идет за счет эффектов, вызываемых ультразвуковыми колебаниями – кавитацией и акустическими потоками.

Помимо применения пенообразования перспективным является использование ультразвука на этапе нанесения моющего средства. Ультразвуковое распыление превосходит прочие процессы распыления за счет таких преимуществ, как однородность факела распыла, высокая концентрация аэрозоля и отсутствие необходимости применения высокого давления [4, 5]. За счет отсутствия необходимости в давлении можно отказаться от использования сжатого воздуха, что позволяет снизить энергопотребление моечных установок.

В проведенных ранее исследованиях показано, что использование ультразвука на этапе пенообразования при удалении загрязнений, аналогичных сильным загрязнениям наружной поверхности автомобиля, эффективность моющего средства повышается в среднем в 2 раза. При этом при сохранении прежней эффективности удаления

загрязнений возможно снижение концентрации в смеси моющего средства, что положительно повлияет на экологический аспект процесса очистки. Также снижение сбросов ПАВ в сточные воды позволит повысить срок службы очистных сооружений в случае использования систем оборотного водоснабжения. Кроме того, возможно снижение энергозатрат используемого оборудования, так как отсутствует потребность в сжатом воздухе, что позволяет отказаться от использования компрессора.

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту № FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Список использованных источников

1. Нигметзянов, Р. И. Ультразвуковой способ получения моющих пен / Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, А. В. Сухов, Д. С. Фатюхин // Вестник машиностроения. – 2018. – № 12. – С. 78 – 82.
2. Ультразвуковая обработка дисперсных систем / А. Н. Ливанский, Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин // Вестник машиностроения. – 2017. – № 9. – С. 62 – 68.
3. Применение ультразвука при получении пен, применяемых для мойки изделий машиностроения / В. В. Гриб, Н. В. Левушкина, Р. И. Нигметзянов и др. // Вестник МАДИ. – 2017. – № 1(48). – С. 43 – 49.
4. Сухов, А. В. Перспективы применения ультразвукового распыления моющего средства при мойке автомобиля / Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, А. В. Сухов, Д. С. Фатюхин // Журнал автомобильных инженеров. – 2018. – № 2(109). – С. 52 – 54.
5. Нигметзянов, Р. И. Разработка технологических установок для ультразвуковой очистки изделий автотракторной техники / Р. И. Нигметзянов, В. М. Приходько, С. К. Сундуков // Научные технологии в машиностроении. – М., 2015. – № 10. – С. 22 – 26.

В. М. Приходько, Э. Дьедоне, Д. С. Симонов
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, Россия,
e-mail: prikhodko@madi.ru, dimsimonov94@mail.ru)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ) охватывает все стадии прохождения изделия с начала появления идей о его создании. Понятие ЖЦИ включает в себя все стадии жизни изделия – от изучения рынка перед проектированием до утилизации после использования. Весьма важным параметром ЖЦИ является его структура. Она достаточно сложна и представляет собой совокупность стадий, характеризующих относительно автономные и взаимно связанные фазы воспроизводственного процесса. Таким образом, характерная особенность ЖЦИ – время, а его продолжительность зависит от ряда факторов, каждый из которых может влиять на определенную стадию исходя из выделенных ресурсов.

Несмотря на то, что у каждого изделия или вида изделия свой уникальный путь, можно определенно говорить о наличии различных закономерностей развития, которые позволили исследователям обратить внимание на возможность неоднократного повторения явления схожего характера.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, стадии, продолжительность, технический процесс, модифицирование.

V. M. Prihod'ko, E. Diedonne, D. S. Simonov
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI))

INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE LIFE CYCLE OF SURFACE-MODIFIED PRODUCTS OF TRANSPORTATION EQUIPMENT

Abstract. The product life cycle (LLC) covers all stages of the product's passage from the beginning of the appearance of ideas about its creation. Life cycle concept includes all stages of a product's life - from market research before design to disposal after use. A very important parameter of the life cycle is its structure. It is quite complex and is a set of stages that characterize relatively autonomous and mutually related phases of the reproductive process. Thus, a characteristic feature of the life cycle is time, and its duration depends on a number of factors, each of which can influence a certain stage based on the allocated resources [1].

Despite the fact that each product or type of product has its own unique path, we can definitely talk about the presence of various patterns of development, which allowed researchers to pay attention to the possibility of repeated repetition of a phenomenon of a similar nature.

Keywords: product life cycle, stages, duration, technical process, modification.

Рассмотрим ЖЦИ на примере автомобильной техники. Как объект машиностроительного производства, ЖЦИ включает в себя достаточно большое количество процессов и участников согласно [2] следующим этапам (рис. 1): фундаментальные и поисковые исследования; маркетинг и внешнее проектирование; рабочее проектирование; изготовление опытных образцов, испытания и доводка; технологическая подготовка

производства (ТПП); серийное производство; эксплуатация и послепродажное обслуживание; утилизация. Можно сократить эти стадии на исследование и разработку, изготовление, обращение, эксплуатацию и утилизацию [3, 4].

Участники каждой отдельной стадии не имеют полного представления о дальнейших или о предыдущих действиях, происходящих с изделием, или имеют его не полностью [5]. Их деятельность определяется локальными интересами. В связи с этим возникает необходимость совершенствования методов выявления стадий ЖЦИ вместе с участниками, согласования со стадиями ЖЦИ в целях их унификации, чтобы применить полученную модель ЖЦИ на любом объекте производства. С этой целью вводится идея его непрерывной информационной поддержки поставок с целью перехода к интегрированной информационной среде.



Рис. 1. Стадийная структура жизненного цикла изделия

На начальном этапе эскизного проектирования в соответствии с ТЗ анализируют и выбирают конструктивные схемы, выполняют необходимые проектные расчеты, моделируют рабочие процессы узлов, агрегатов и систем в лабораторных условиях, а также проводят математическое моделирование на ЭВМ [6]. Одновременно готовят рабочую документацию на изготовление макетов и опытных образцов ТТ и других основных элементов и составных частей комплекса. Этап эскизного проектирования (т.е. выполнение в основном расчетных работ и конструирование) завершают подготовкой первых опытных образцов основных элементов и составных частей ТТ для наземной отработки.

Опытную отработку комплекса проводят на последовательных испытаниях изделий возрастающих иерархических уровней. Так, после успешной отработки комплектующих

и составляющих элементов (отдельных приборов, узлов, конструкций отсеков АТ и др.) переходят к автономным испытаниям основных элементов (двигателей, систем управления, корпусов ступеней ТТ и т.п.) на специально оборудованных стендах. Это осуществляется для измерения характеристик опытного образца, системами, обеспечивающими подготовку и проведение испытаний, а также системами, обеспечивающими безопасность работ. Этап разработки и производства первого опытного образца является первым, где расходы на продукт начинают заметно возрастать [1, 5]. Поэтому компании уделяют повышенное внимание всем предыдущим этапам, где готовится решение к выходу на данный этап.

По результатам зачетных испытаний, а также данным практических испытаний и проектной документации принимается решение о пригодности ТТ к использованию по назначению, а также о степени и точности выполнения ТЗ разработчиками комплекса. Определяется перечень замечаний, после устранения которых можно начать серийное производство ТТ. Срок эксплуатации опытного ТТ согласовывают заказывающие и проектирующие организации [7].

Заключительной стадией конструкторской подготовки производства является разработка технической документации (чертежей, инструкций и т.д.), технических условий.

Практически имеется только одно описание изделия как объекта эксплуатации, являющееся результатом предыдущих стадий ЖЦИ, и отсутствие описания их дальнейшего применения как объекта ремонта и утилизации [1, 7, 8], что приводит к неопределенности постановки задачи о информационном обеспечении изделия и затруднению разработки соответствующего технологического процесса (ТП).

После испытания и доводки опытной партии уточняется рабочий проект, который передается в законченном виде для технологической подготовки производства. На всех стадиях проектирования уточняются, конкретизируются и окончательно определяются все технические и экономические характеристики изделия, определяется целесообразность использования первоначально выбранного пути совершенствования продукции и принимается решение о ее выпуске.

Серийное производство основных элементов и составных частей ТТ организуют на заводах, где создавались опытные образцы, или чаще на специально выделенных под серийное производство предприятиях, способных обеспечивать выпуск заданного количества продукции.

Процесс серийного производства завершается по местности, где разворачивают комплекс, ведут строительство сооружений и коммуникаций, монтаж оборудования, а также автономные и комплексные испытания аппаратуры и оборудования ТТ, после которых комплекс вводят в эксплуатацию [9].

При эксплуатации ТТ, для поддержки его в состоянии выполняют различные ремонтные операции в соответствии с требованиями или с возникшими проблемами. При проведении ремонта возможна утилизация отдельных деталей или ТТ в целом в зависимости от состояния, требования и организации ремонтных работ. Таким образом, завершающим этапом ЖЦИ является ремонт и утилизация.

Любой вид транспортной техники состоит из огромного количества деталей, узлов и агрегатов, производство каждого из которых, в свою очередь, требует множества технологических операций. Поэтому машиностроительное производство, как никакое другое, требует рациональной организации. От того, на каких предприятиях выпускаются те или иные элементы ТТ, и как эти предприятия взаимодействуют между собой, зависит себестоимость продукции, уровень разнообразных рисков, и, в конечном счете – эффективность работы отрасли. Поэтому мало рассматривать транспортное машиностроение как единое целое – необходимо уделять внимание отраслевой структуре автомобильной промышленности [10].

В такой структуре предприятия отказываются от реализации полного цикла производства финальных изделий со всеми необходимыми компонентами, а специализируются на выпуске отдельных компонентов ТТ аппаратов или транспортных двигателей, а нередко даже на отдельных высокотехнологичных производственных услугах (например, таких, как напыление жаропрочных покрытий или поверхностное модифицирование на ответственных деталях). Такие специализированные производства концентрируют необходимые виды дорогостоящего современного оборудования, высококвалифицированный персонал, нематериальные активы. Поскольку специализированные производства выпускают соответствующие комплектующие изделия в интересах всей отрасли или ее значительной части, обеспечивается экономически эффективная загрузка их производственного потенциала.

Выпуск поверхностно-модифицированных изделий в матричных структурах реализуется в рамках кооперации предприятий отрасли. Как правило, «под» каждое финальное изделие создается «мягкий» альянс специализированных предприятий, поставляющих отдельные комплектующие изделия или производственные услуги. В рамках альянса реализуется общее управление проектом, маркетинг, системная интеграция компонента, послепродажное обслуживание, а комплектующие изделия, услуги и работы производственного назначения закупаются на основе субподряда.

На данном этапе приступают к практическому действию в целях получения материала изготовления составных частей ТТ согласно рекомендациям проектных работ и первичным испытаниям. Материалы преобразуют в готовых продуктах благодаря сочетанию множества производственных процессов, определяющему все необходимые действия.

Проведенный анализ показывает, что существует множество вариантов получения и обработки деталей. Полученные готовые детали после контроля и испытаний переходят в сборочный цех для осуществления дальнейших действий, связанных с их комбинацией в подходящих сборочных единицах ТТ.

В работе рассматривается анализ методов [11, 12, 13, 14, 15] технологии изготовления прецизионных деталей «тело вращения» для обеспечения эксплуатационной надежности деталей машин за счет улучшения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей. С помощью вибрационной техники ультразвуковой частоты изучены технологии ППД и установлены количественные связи между режимами последнего и

напряженно-деформированным состоянием обработанных технологическим ППД поверхностей деталей, разработаны методики определения начальных технологических остаточных напряжений в поверхностных слоях прецизионных деталей при совершении технологического поверхностного пластического деформирования. Сущность методов ППД заключается в том, что под действием инструмента, прижимаемого с заданной силой к обрабатываемой поверхности, происходит пластическое деформирование поверхностного слоя. В этих работах осуществляют повышение качества изделий за счет управляемой ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки, в целях повышения надежности и срока службы приборов машин и механизмов. Разработан метод и средства контроля влияния различных параметров ультразвуковой обработки поверхности металла, установлена их величина и взаимосвязи для получения малой шероховатости и максимального упрочнения обработанной поверхности. В результате таких обработок упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость, усталостная и коррозионно-усталостная прочность. При этом исправляется технологическая наследственность на поверхности обрабатываемой детали [14, 15].

Заключение. Одной из основных целей работы является установление основных закономерностей сочетания различного рода частот колебательных воздействий и комбинирования в процессе обработки на операциях ультразвуковой обработки (УЗО), ППД, сборки, разборки, очистки, мойки, протирки, сушки; обеспечение качества поверхности и повышение производительности при различных частотах колебательного воздействия; выделение наиболее эффективных условий реализации процессов с различными частотами.

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Список используемых источников

1. Эссоло Дьедонне. Повышение эффективности ремонта и утилизации изделий машиностроения на основе разработки процессов виброволновой разборки и очистных операций : дис. ... канд. техн. наук / Эссоло Дьедонне. – Ростов н/Д, 2014. – 196 с.
2. Кулешов, А. А. Методология формирования конкурентных преимуществ Российской авиационной техники на этапах жизненного цикла : автореф. дис. д-ра техн. наук / А. А. Кулешов. – 2005. – 36 с.
3. Петросов, В. В. Ремонт автомобилей и двигателей : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Петросов. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
4. Федеральный закон РФ от 08.11.04 г. – № 128-ФЗ.
5. Карпунин, М. Г. Жизненный цикл и эффективность машин / М. Г. Карпунин, Я. Г. Любинецкий, Б. И. Майданчик. – М. : Машиностроение, 1989. – 312 с.
6. Применение ИПИ-технологий в задачах обеспечения качества и конкурентоспособности продукции. Проект министерства промышленности и энергетики РФ : метод. рекомендации. – М. : НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2004. – 104 с.

7. Бабичев, А. П. Формирование и контроль параметров качества поверхности, определяющих эксплуатационные свойства деталей машин : текст лекций РИСХМ / А. П. Бабичев, М. А. Тамаркин, Т. Н. Рысева. – Ростов н/Д, 1990. – 51 с.

8. Бабичев, А. П. К анализу жизненного цикла изделия и его элементов на стадии утилизации / А. П. Бабичев, Венант Кайибанда, Хамуда Халед // Вопросы вибрационной технологии: межвузовский сборник научных статей. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2007. – С. 76 – 80.

9. Баженов С. П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / С. П. Баженов, Б. Н. Казьмин, С. В. Носов ; под ред. С. П. Баженова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.

10. Дидык, Р. П. Технология производства и ремонта горных машин. – Изд-е третье перераб. и доп. Рекомендовано мин. образ. Украины в качестве учеб. для студ. горных вузов / Р. П. Дидык, В. Н. Забара, П. М. Шилов. – Днепропетровск : Пороги, 1996. – 440 с.

11. Кудашева, И. О. Совершенствование технологии изготовления прецизионных деталей. Тело вращения на основе применения ультразвукового упрочнения и поверхностно-активных веществ : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. О. Кудашева. – Саратов, 2008. – 16 с.

12. Приходько, В. М. Формирование эксплуатационных свойств деталей машин ультразвуковыми методами: монография / В. М. Приходько, И. А. Медеяев, Д. С. Фатюхин. – М. : МАДИ, 2015. – 264 с.

13. Приходько, В. М. Физические основы ультразвуковой технологии при ремонте автотракторной техники / В. М. Приходько. – М. : Изд-во «БРАНДЕС», 1996. – 127 с.

14. Казанцев, В. Ф. Ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование твердых тел / В. Ф. Казанцев, Е. Ш. Статников // Воздействие мощного ультразвука на межфазную поверхность металлов; под ред. А. И. Манохина. – М. : Машиностроение, 1986. – С. 186 – 216.

15. Палаев, А. Г. Контроль качества поверхности металлов, обработанных ультразвуком : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Палаев. – Санкт-Петербург, 2012.

ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

УДК 621.923

С. Б. Фам, О. А. Курсин, Ю. Л. Чигиринский
(Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия,
e-mail: yurakazuma1991@ gmail.com)

КОМБИНИРОВАННАЯ АБРАЗИВНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

S. B. Pham, O. A. Kursin, Yu. L. Chigirinsky
(Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd)

COMBINED ABRASIVE-HARDENING TREATMENT THE STEELS WITH IMPROVED PLASTICITY

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективного хонингования при обработке низкоуглеродистых сложнолегированных и высоколегированных сталей. Приведены описания нового метода хонингования с опережающим пластическим деформированием, дающего повышение качества обработанной поверхности с максимальной производительностью изделий из низкоуглеродистых сталей.

Ключевые слова: абразивно-упрочняющая обработка, хонингование, раскатывание, повышенная пластичность, качества поверхности.

Abstract. The article deals with the issues of increasing the effect of honing when processing low-carbon complex-alloyed and high-alloyed steels. Descriptions of a new method of honing with advanced plastic deformation, which improves the quality of the treated surface with maximum performance of products made of low-carbon steels, are given.

Keywords: abrasive-hardening treatment, honing, rolling, increased plasticity, surface quality.

В настоящее время хладостойкие стали широко применяются в авиации, аэрокосмической, морской, станкостроительной и инструментальной промышленности в холодных регионах. Сталь 09Г2С является одной из самых хладостойких популярных сталей. На севере России многокилометровые магистрали трубопроводов возведены из этой марки.

Однако сталь 09Г2С имеет высокую пластичность т.е. большое значение относительного удлинения. Относительное удлинение можно представить как отношение высоты наплыва к глубине снимаемого слоя. Поэтому при одной и той же глубине припуска образуются большая высота наплыва и разрушается металл (рис. 1) [1].

Различными исследованиями [2, 3] доказано, что характеристики микрорельефа хонингованных поверхностей зависят от твердости материала заготовки, что указывает необходимость повышения твердости поверхности.

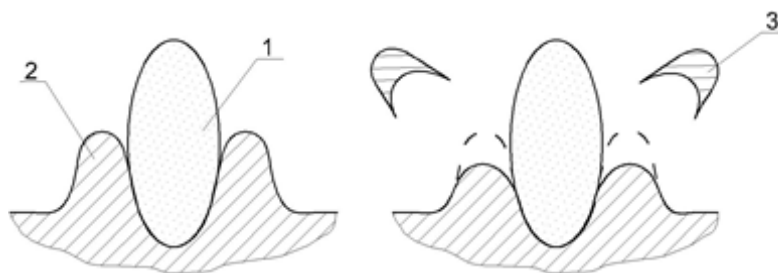


Рис. 1. Образование наплыва металла вдоль следа обработки:
 1 – абразивное зерно; 2 – наплывы металла; 3 – разрушение металла

В данной статье рассматривается применение нового способа хонингования с опережающим пластическим деформированием. Метод хонингования с опережающим пластическим деформированием совмещает в себе два процесса – предварительное поверхностное пластическое деформирование и собственно хонингование. Поверхностное пластическое деформирование упрочняет поверхностный слой, образуется наклепанный слой металла, т.е. повышает его твердости.



Рис. 2. Раскатывание на хонинговальном станке

Экспериментальные исследования проводились на хонинговальном станке модели ОФ-38А. В качестве заготовки использовался цилиндр стали 09Г2С, режущий инструмент был представлен брусками: БП 70×5×4 WA F120 O 8 V 50 Б 2. Для проведения исследований назначаем: силу прижима ролика – в пределах 247 – 979 Н, скорость возвратно-

поступательного движения головки – в пределах 1,5 – 4,5 м/мин, скорость вращения раскатной головки – в пределах 30 – 70 м/мин, давление прижима абразивного бруска, равное 0,4 МПа, скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки – в пределах 7,2 – 12 м/мин, скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки, равную 8 м/мин.

Поверхности, обработанные хонингованием и хонингованием с опережающим пластическим деформированием, показаны на рис. 3.

Из фотографии поверхности, полученной после хонингования с опережающим пластическим деформированием (рис. 3, б), видно, что совпадения следов обработки не происходит и шероховатость более однородна.

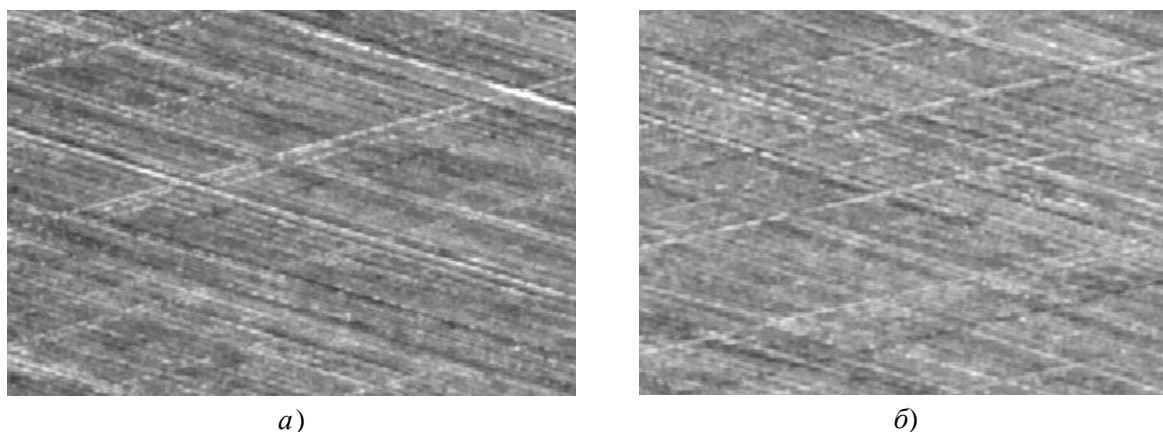


Рис. 3. Поверхность, обработанная хонингованием (а); поверхность, обработанная хонингованием с опережающим пластическим деформированием (б)

Для исследования процесса хонингования с опережающим пластическим деформированием поверхности необходимо построить математическую модель влияния основных режимов предварительного раскатывания на параметр шероховатости Ra получаемой поверхности. В работе исследуется влияние времени раскатывания, скорости вращения раскатной головки, скорости возвратно-поступательного движения раскатной головки и силы разжима раскатных роликов на параметр шероховатости Ra поверхности заготовки.

Исследование процесса выполнено с использованием методов полного факторного планирования эксперимента вида 3^4 [4, 5, 6]. План экспериментов показан в табл. 1.

1. План экспериментов

Технологические факторы	Единицы измерения	Натуральные значения		
		-1	0	+1
Сила прижима ролика	Н	247	613	979
Скорость возвратно-поступательного движения	м/мин	1,5	3	4,5
Скорость вращения	м/мин	30	50	70
Время ОПД	с	30	60	90

№ опыта	Фактические результаты опытов					Нормированные значения			
	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	R	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
1	247	1,5	30	30	1,995	-1	-1	-1	-1
2	613	1,5	30	30	1,767	0	-1	-1	-1
3	979	1,5	30	30	1,903	+1	-1	-1	-1
...									
79	247	4,5	70	90	1,663	-1	+1	+1	+1
80	613	4,5	70	90	1,645	0	+1	+1	+1
81	979	4,5	70	90	2,008	+1	+1	+1	+1

В таблице 2 приведены данные, характеризующие регрессионные модели, полученные при нормировании исходных значений.

2. Результаты моделирования

Параметр	Спецификация модели		
	линейная	степенная	показательная
Оценка влияния факторов			
Случайные факторы	-0,1116	-0,0137	-0,0137
Сила прижима ролика	-0,1025	-0,1008	-0,1005
Скорость возвратно-поступательного движения	0,1113	0,1041	0,049
Скорость вращения	-0,1890	-0,1936	-0,1910
Время ОПД	0,0224	-0,0112	0,0237
Достоверность адекватной модели, %	99,9	99,9	99,9
Оценка погрешности			
Табличное значение F-критерия	5,267	5,347	5,492
Расчетное значение f-критерия	2,014	2,014	2,014
Относительная погрешность, %	8,56	8,52	8,55

В регрессионной модели относительная погрешность степенной модели ниже аналогичных параметров линейной и показательной модели (8,56% – линейная; 8,52% – степенная; 8,55% – показательная). Таким образом, показательная модель облегчает дальнейший прогноз качества поверхности после хонингования с опережающим пластическим деформированием.

Коэффициенты регрессии показательной модели показывают влияние времени раскатывания, скорости вращения раскатной головки, скорости возвратно-поступательного движения раскатной головки и силы разжима раскатных роликов на параметр шероховатости Ra поверхности заготовки. С ростом силы разжима раскатных роликов уменьшается среднее арифметическое отклонение профиля (коэффициент регрессии -0,1008).

Такая закономерность объясняется ростом твердости обработанной поверхности с увеличением силы. С увеличением скорости возвратно-поступательного движения раскатной головки происходит увеличение величины Ra профиля (коэффициент регрессии 0,1041). В результате совпадения следов обработки увеличивается шероховатость поверхности. С увеличением скорости вращения раскатной головки значительно повысится качество обработанных деталей (коэффициент регрессии $-0,1936$). В результате несовпадения следов обработки уменьшается шероховатость поверхности. С увеличением времени ОПД, в соответствии с повышением твердости обработанной поверхности, значения параметра Ra получаемых поверхностей уменьшают (коэффициент регрессии $-0,0112$).

На основании проведенного регрессионного анализа математическая модель влияния основных параметров обработки хонингованием с опережающим пластическим деформированием на показатель среднего арифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности реализуется в виде следующей зависимости:

$$Ra = 3,466 F^{-0,036} V_{в.п}^{0,047} V_{в}^{-0,114} t_{ОПД}^{-0,005}, \quad (1)$$

где F – сила прижима ролика, Н; $V_{в.п}$ – скорость возвратно-поступательного движения, м/мин; $V_{в}$ – скорость вращения, м/мин; $t_{ОПД}$ – время ОПД, с.

По результатам экспериментальных исследований твердость увеличивается на 134%. В результате этого снижается параметр шероховатости Ra после хонингования на 50%.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет эффективно работать при обработке «мягких» труднообрабатываемых сталях крупногабаритных изделий.

Список использованных источников

1. Исследование влияния твердости обрабатываемого материала на качество поверхности при хонинговании / Ю. Н. Полянчиков, О. А. Курсин, Д. А. Мартус и др. // Изв. ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 13(100). – С. 51 – 54.
2. Трудов, А. Ф. Влияние нагревов на структуру и свойства сваренного взрывом биметалла Ст3+12Х18Н10Т / А. Ф. Трудов, Ю. П. Трыков, С. В. Клочков, Д. Ю. Донцов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10(48) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении ; Вып. 2. – 164 с.
3. Полянчиков, Ю. Н. Улучшение параметров шероховатости при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон // Вестник СГТУ. – 2010. – № 1. – С. 67 – 71.
4. Чигиринская, Н. В. Планирование эксперимента в задачах техники и экономики : учеб. пособие / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский, А. С. Горобцов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 94 с.
5. Евдокимов, Ю. А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, А. И. Тетерин. – М. : Наука, 1980.
6. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.

В. Г. Юрьев, Ю. М. Зубарев

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: yurev_mv@rambler.ru, iuzubarev@mail.ru)

О СКОРОСТНОМ СУПЕРФИНИШИРОВАНИИ КЕРАМИКИ

Аннотация. Рассмотрено влияние скорости суперфиниширования рабочей тороидальной поверхности керамических дисков, изготовленных из материалов с различной обрабатываемостью, на скорость удаления припуска, шероховатость обработанных поверхностей и расход алмазных брусков. Приведены сравнения с обработкой изделий из металла

Ключевые слова: суперфиниширование, алмазные бруски, керамический материал, диск, скорость резания, усилие прижима, частота колебаний, обрабатываемость, удаляемый припуск, скорость удаления припуска, шероховатость, производительность, коэффициент суперфиниширования.

V. G. Yuriev, Yu. M. Zubarev

(Saint-Petersburg State Marine Technical University, Saint-Petersburg, Russia)

ABOUT HIGH-SPEED SUPERFINISHING OF CERAMICS

Abstract. The influence of the speed of superfinishing of the working toroidal surface of ceramic disks made of materials with different workability on the rate of removal of the allowance, the roughness of the processed surfaces and the consumption of diamond bars is considered. Comparisons are made with the processing of metal products

Keyword: superfinishing, diamond bars, ceramic material, disk, cutting speed, clamping force, oscillation frequency, workability, allowance to be removed, allowance removal rate, roughness, productivity, superfinishing coefficient.

Значительное распространение в устройствах фрикционного типа используемых для текстурирования методом ложного кручения полиамидных и полиэфирных нитей, получили керамические диски. Эксплуатационные свойства таких дисков в первую очередь определяются физико-механическими свойствами применяемой конструкционной керамики, макро- и микрогеометрией его рабочей тороидальной поверхности и другими параметрами.

Для формообразования тороидальной поверхности керамических дисков используется шлифование. Однако шлифование не обеспечивает требуемых параметров микрогеометрия. Для рабочих дисков согласно чертежу, например, параметр Ra как поперечной, так и продольной шероховатости, должен находиться в пределах $0,7 \dots 1,0$ мкм. Поэтому имеется необходимость в финишных (отделочных) операциях механической обработки. Одной из таких операций может быть суперфиниширование [2].

Низкая обрабатываемость керамических материалов по сравнению металлами предполагает, что производительность их обработки будет пропорционально ниже. С другой стороны, известно, что производительность суперфиниширования изделий из металла повышается с увеличением не только усилия прижима (давления в зоне контакта), но и окружной скорости. При суперфинишировании дорожек качения подшипников в отдельных случаях максимальная окружная скорость достигает 400 м/мин [1]. В промышленном производстве окружная скорость находится в пределах 30...100 м/мин, редко выше, например, 10 м/с при обработке внутренней конической поверхности кольца подшипника после цементации. Повышение окружной скорости, как и давления, обычно ограничивается величинами, при которых на поверхности бруска отмечается налипание металла обрабатываемой заготовки. Для изделий из керамических материалов подобного ограничения нет. Поэтому предпринята попытка повысить производительность суперфиниширования керамики, существенно увеличив скорость резания (окружную скорость заготовки) [2].

Суперфиниширование тороидальной поверхности диска представляет собой так называемое врезное суперфиниширование, в котором продольное (осевое) относительное движение подачи заготовки и инструмента отсутствует. Это напоминает суперфиниширование желобов (дорожек качения) колец шарикоподшипников [1], где обрабатывается тороидальная вогнутая поверхность. В нашем случае обрабатываемая тороидальная поверхность диска является выпуклой. Заготовка вращается, а брусок совершает качательное (колебательное) движение относительно центра качаний, выбранного так, чтобы радиус качаний рабочей поверхности бруска совпадал с радиусом желоба.

В экспериментах использовалось специальное приспособление для суперфиниширования, которое устанавливалось на столе модернизированного заточного станка модели 3В642. Приспособление имеет плоские пружины, которые позволяют существенно уменьшить жесткость технологической системы. Использование малой жесткости позволяет обеспечивать требуемое качество обработанной поверхности, а также с достаточно высокой точностью устанавливать усилие взаимодействия P_y инструмента и заготовки [5, 6].

Эксперименты выполнялись при скорости суперфиниширования (окружной скорости диска) $V = 6,4$ м/с и $V = 9,1$ м/с. Усилие прижима бруска к диску P_y варьировалось в пределах 15...90 Н (среднее давление $p \approx 0,5...3,0$ МПа). В качестве СОТС использовалось масло «Индустриальное 20А» (И-20А). Применялись бруски характеристик АС2 75/63(D76) Р9 50% и АС4 125/106(D126) Б1 100%. В большинстве случаев обрабатывались диски диаметром 50 мм, толщиной 6 мм с радиусом тороидальной поверхности 3,5 мм из алюмооксидной керамики АЛ1 (Б6) (прочность на изгиб 250 МПа, плотность 3850 кг/м³, модуль упругости 350 ГПа, твердость 90 НРА, открытая пористость – 0%). Это наиболее легкообрабатываемая конструкционная керамика. Для сравнения в отдельных экспериментах использовалась керамика (АЛ3) Б11 и ВК94, которые отличаются пониженной обрабатываемостью [3].

При измерении параметров микронеровностей тороидальной поверхности использовалась измерительная система «Form Talysurf» (Taylor Hobson, Англия) и профилометр

Г-148 мод. 283 завода «Калибр» с приспособлением для измерения продольной шероховатости [4].

Для установления требуемого усилия прижима бруска к изделию получена зависимость усилия взаимодействия P_y -деформация плоских пружин. Направление деформации пружин при тарировке и последующей обработке совпадали. Деформация системы инструмента измерялась индикатором в направлении приложения силы как при тарировке, так и последующей обработке. При использовании низкой частоты качательного движения бруска устройство позволяет изменять усилие прижима бруска к заготовке в момент обработки.

Использовалась частота качательного движения ω_k , равная 2,5 Гц, а угол качания составлял $\pm 20^\circ$, что обеспечивает размах колебаний бруска в зоне контакта с диском, равный $\approx 2,5$ мм. Это соответствует максимальной скорости колебательного движения бруска в зоне резания, равной $\approx 0,02$ м/с. При окружной скорости диска, равной 6,4 м/с, расчетный угол сетки [1] составляет $\alpha_c \approx 89,8^\circ$. При таком угле сетки режущие кромки оставляют на обработанной поверхности риски-царапины практически параллельные между собой, сетка вырождается. Для достижения угла сетки, равного $30 \dots 50^\circ$ [1], требуется резкое увеличение частоты колебаний бруска.

Характер изменений удаляемого припуска (рис. 1 – 3) при суперфинишировании керамики в большей мере напоминает процесс обработки металлов эльборовыми и алмазными брусками. Однако для керамики при сопоставимых давлениях в зоне контакта инструмента и заготовки переход от резания к полированию протекает менее заметно. В то же время при обработке керамики наблюдается постепенное уменьшение снимаемого припуска за счет снижения режущих свойств инструмента при частичном затуплении активных алмазных зерен с течением времени обработки.

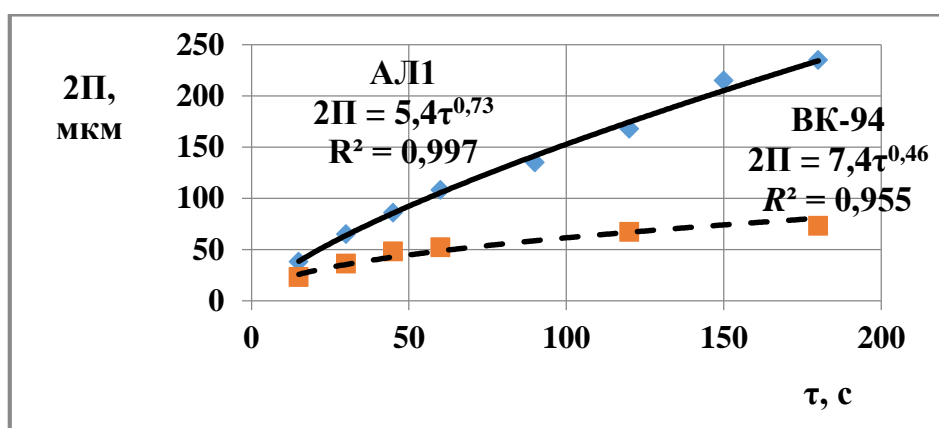


Рис. 1. Влияние продолжительности суперфиниширования τ на величину снятого припуска $2П$ для керамических материалов АЛ1 и ВК94:
 брусок АС2 75/63 Р9 50%; $V = 6,4$ м/с; $P_y = 60$ Н

Скорость удаления припуска, являясь критерием производительности, для суперфиниширования легкообрабатываемой керамики Бб в течение первых 15...30 с сопоставима с таким же параметром для обработки брусками из эльбора ($2 \dots 4$ мкм/с [1]),

но ниже для труднообрабатываемой (ВК94) керамики. Более высокую производительность можно получить, увеличивая усилие взаимодействия P_y инструмента и диска (рис. 2), а также скорость резания. Так, увеличив скорость резания до 9,1 м/с, скорость удаления припуска повышается на 40...50%.

После удаления минимально необходимого припуска [2] (в нашем случае для керамики АЛ1 и ВК94 примерно 80 и 70 мкм соответственно) микронеровности поверхности после суперфиниширования изменяются практически незначительно, достигнув некоторого предельного значения. При этом исходные значения микронеровностей снижаются в 6–9 раз.

Существенно более высокая производительность, даже для керамических материалов низкой обрабатываемости АЛ3 и ВК94 [3], может быть обеспечена при использовании алмазных брусков с большей зернистостью и на другой связке (рис. 3). Но при этом продольная шероховатость обработанной поверхности при $P_y = 40$ Н повышается до $Ra = 1,09 \pm 0,12$ мкм.

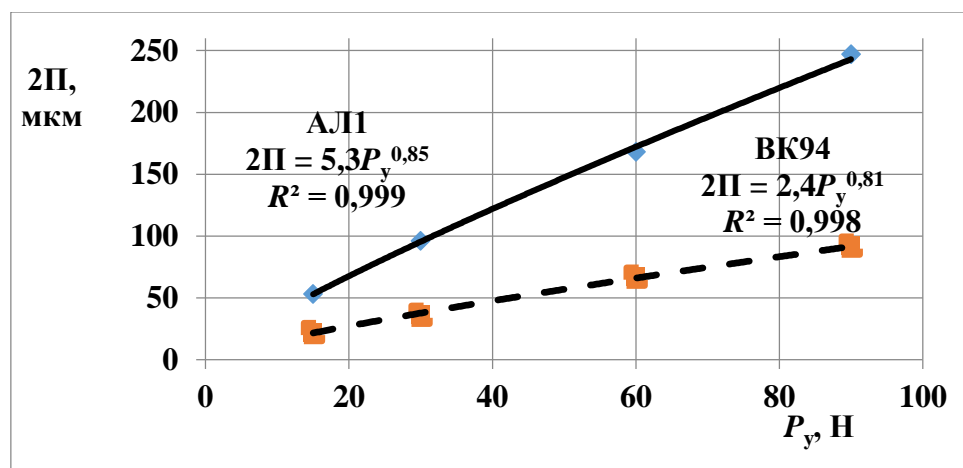


Рис. 2. Зависимость снимаемого припуска 2П от силы P_y взаимодействия бруска и диска: брусок АС2 75/63 P9 50%; $V = 6,4$ м/с; $\tau = 2$ мин

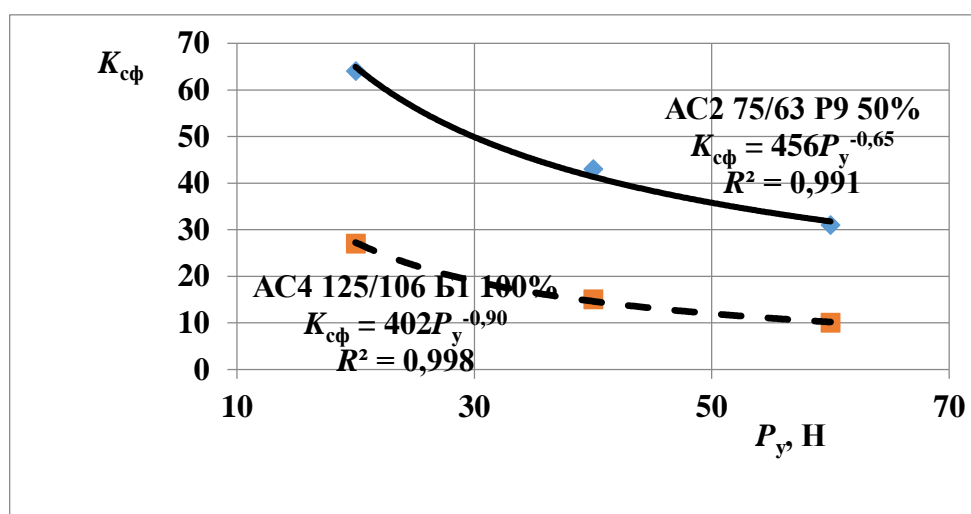


Рис. 3. Влияние усилия прижима P_y на коэффициент суперфиниширования $K_{сф}$: керамика АЛ1, $V = 6,4$ м/с; $\tau = 0,5$ мин

Для оценки расхода алмазных брусков использовался коэффициент суперфиниширования (аналогично коэффициенту шлифования [4]) как отношение объема удаленного при обработке материала к объему изношенной части бруска. Этот коэффициент является обратной величиной удельного абразивного износа. Для легкообрабатываемой керамики АЛ1 коэффициент суперфиниширования существенно выше. Он понижается с увеличением усилия прижима P_y . Существенно ниже, в 3 раза и более, этот параметр для брусков большей зернистости. При скорости резания, равной 9,1 м/с, коэффициент суперфиниширования снижается на 15...30% по сравнению с данными рис. 5, что связано с повышением температуры в зоне контакта инструмента и диска, которая негативно влияет на прочностные свойства связки брусков на органической связке Б1.

Выводы.

1. Повышение скорости резания до 9,1 м/с обеспечивает повышение производительности суперфиниширования, которая не уступает по производительности обработке металлов брусками из эльбора и алмаза.
2. Как и при суперфинишировании металлов, увеличение производительности наблюдается с увеличением зернистости брусков, повышением усилия прижима и скорости резания.

Список использованных источников

1. Технология обработки абразивным и алмазным инструментом / З. И. Кремень, Г. И. Буторин, В. М. Коломазин и др. ; под ред. З. И. Кременя. – Л. : Машиностроение, 1989. – 207 с.
2. Юрьев, В. Г. Суперфиниширование тороидальной поверхности керамических дисков : сб. тр. 8-й Международной конференции по шлифованию, абразивным инструментам и материалам «INTERGRIND – 91». Ч 2 / В. Г. Юрьев, Г. П. Зайцев. – Л. : 1991. – С. 138 – 145.
3. Юрьев, В. Г. Анализ обрабатываемости керамических материалов. Инструмент и технологии / В. Г. Юрьев, Г. П. Зайцев. – 1998. – № 12. – С. 20–21.
4. Юрьев, В. Г. Специальное устройство к профилографу. Инструмент и технологии / В. Г. Юрьев. – 2001. – № 5. – С. 80 – 82.
5. Кремень, З. И. Технология шлифования в машиностроении / З. И. Кремень, В. Г. Юрьев, А. Ф. Бабошкин. – СПб. : Политехника, 2007. – 424 с.
6. Юрьев, В. Г. О классификации технологических систем по уровню жесткости. Инструмент и технологии / В. Г. Юрьев, А. В. Приемьшев. – 2004. – № 17–18. – С. 245 – 248.
7. Юрьев, В. Г. Волнообразование на поверхности инструмента при обкатывании дисков : справочник / В. Г. Юрьев, Ю. М. Зубарев // Инженерный журнал с приложением. – № 9(270). – 2019. – С. 27 – 33.

В. Ф. Макаров, С. П. Никитин, М. В. Песин

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия, e-mail: m.pesin@mail.ru)

**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ПРЯМОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ГЛУБИННОМ
ШЛИФОВАНИИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

V. F. Makarov, S. P. Nikitin, M. V. Pesin

(Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia)

**FEATURES OF THE DIRECT ANALOGUE METHOD FOR DESCRIPTION
OF THERMOMECHANICAL PROCESSES IN THE ZONE OF PROCESSING
OF ELEMENTARY SURFACES AT PROFILE DEPTH GRINDING OF BLADES
OF GAS-TURBINE ENGINES**

Аннотация. Приведена методика математического описания термомеханических процессов в зоне обработки элементарных поверхностей при профильном глубинном шлифовании на многоосевом станке лопаток ГТД. Для отображения разнородных физических процессов предложено использовать метод прямой аналогии. Дано описание упругой системы станка, рабочего процесса, тепловых процессов в зоне резания. Использование математической модели позволяет назначать научно-обоснованные режимы глубинного шлифования и обеспечить заданный предел выносливости лопаток ГТД.

Ключевые слова: технология обработки, глубинное шлифование, многоосевая обработка, динамическая система станка, динамические характеристики.

Abstract. A methodology for the mathematical description of thermomechanical processes in the zone of processing of elementary surfaces in the profile deep grinding on a multi-axis machine tool GTE blades. To display heterogeneous physical processes, it is proposed to use the direct analogy method. A description of the elastic system of the machine, work processes, thermal processes in the cutting zone is given. Using a mathematical model allows you to assign scientifically based modes of deep grinding and to provide a given endurance limit of GTE blades.

Keywords: processing technology, deep grinding, multi-axis machining, dynamic system of the machine, dynamic characteristics.

Введение. В понятие термомеханическая система шлифовального станка включают упругую систему шлифовального станка, тепловые процессы в зоне обработки и рабочий процесс шлифования. Другими процессами: процессами трения в подвижных соединениях и электромагнитными процессами в приводах пренебрегаем. Для разработки математической модели термомеханической системы шлифовального станка использован метод прямой аналогии [1, 2], который дает возможность одновременно отображать

разнородные физические процессы, возникающие в зоне обработки. В расчетную схему термомеханической системы глубинного шлифования входят подсистемы упругой системы станка, рабочего процесса и тепловых процессов в зоне обработки.

Постановка задачи. Для каждой из данных физических подсистем разрабатываются свои математические модели, которые затем объединяются в единую систему термомеханической системы глубинного шлифования.

Предлагаемый метод решения задачи. При отображении упругой системы шлифовального станка выделяют отдельные сосредоточенные массы, соединенные друг с другом жесткостями и обладающие определенным демпфированием. При линейном приближении системы математическая модель в матричном виде известна и имеет вид (1)

$$[A]\{q''\} + [B]\{q'\} + [C]\{q\} = \{F\}, \quad (1)$$

где $[A], [B], [C]$ – матрицы, соответственно, инерционности, демпфирования, жесткости; $\{q''\}, \{q'\}, \{q\}$ – вектор-столбцы обобщенных ускорений, скоростей, координат; $\{F\}$ – вектор-столбец внешних воздействий.

При отображении процесса глубинного шлифования учитываем, что связь исходных параметров обработки (подачи, ширины круга, зернистости и др.) и силы резания реализуется посредством изменения фактического сечения срезаемого слоя [3]. На рисунке 1, а представлена схема, отображающая кинематику контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью. Процесс снятия стружки абразивным зерном представляет собой упругопластическое взаимодействие зерна и заготовки, в котором выделяют три фазы (рис. 1, б): чистая упругая деформация, пластическая деформация без удаления стружки, пластическая деформация с удалением материала.

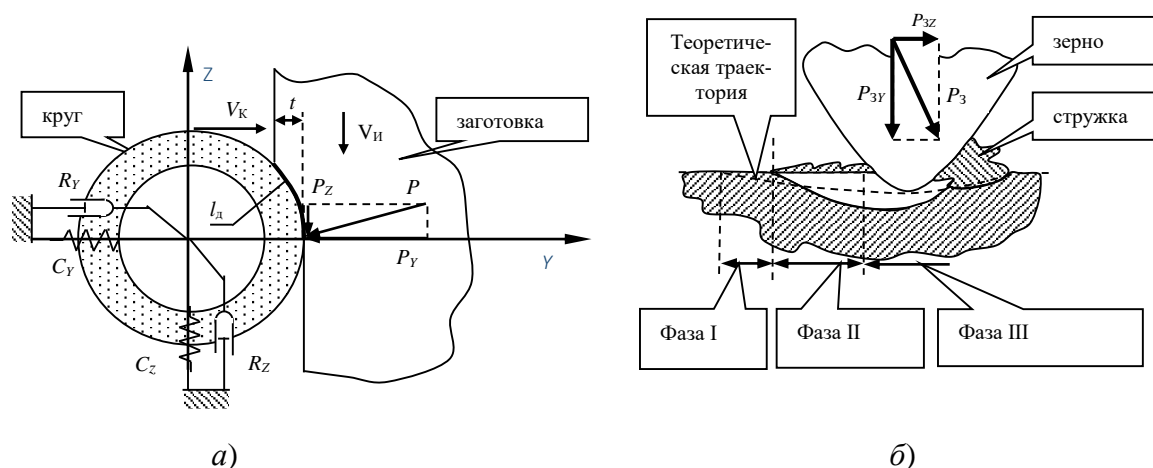


Рис. 1. Схема кинематики контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью:

а – схема контакта шлифовального круга и заготовки; б – процесс резания абразивным зерном

Кудинов В. А. и Кедров С. С. предложили отображать процесс резания в виде полной линейной модели, которая учитывает жесткость и демпфирование процесса. При математическом моделировании глубинного шлифования используем также полную линейную

модель, исходя из того, что процесс шлифования близок к лезвийной обработке. При этом все процессы микрорезания всех абразивных зерен, которые находятся в контакте с заготовкой, представляем в виде единого совокупного процесса и отображаем в виде модели:

$$P + T_p \dot{P} = k_{Px} \dot{x} + h_{Px} \ddot{x} + k_{Py} \dot{y} + h_{Py} \ddot{y} + h_{Pz} \dot{z}, \quad (2)$$

где T_p – постоянная времени процесса резания; P – сила резания, \dot{P} – изменение силы резания, k_{Px} , k_{Py} – коэффициенты резания по координатам x , y ; h_{Px} , h_{Py} , h_{Pz} – коэффициенты демпфирования по координатам x , y , z .

Для математической модели тепловой подсистемы используем дифференциальное уравнение теплопроводности или уравнение Фурье–Кирхгофа. В подвижной системе координат оно имеет следующий вид (3):

$$C_p \gamma (\partial \theta / \partial \tau + v_x (\partial \theta / \partial x) + v_y (\partial \theta / \partial y) + v_z (\partial \theta / \partial z)) = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad } \theta) + q(\theta), \quad (3)$$

где v_x , v_y , v_z – компоненты скорости движения точки теплопроводящей среды, м/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°К); C_p – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°К); θ – температура, °К.

Аналогично, для отображения тепловых процессов в модели используем совокупное зерно с усредненными геометрическими параметрами и условиями работы, которое позволяет отобразить особенности процесса глубинного шлифования элементарных поверхностей сложного профиля. При этом будем использовать систему тел и источников в зоне обработки, предложенную А. Н. Резниковым (рис. 2) [4]. Данный подход позволяет учесть особенности теплофизических процессов глубинного шлифования элементарных поверхностей сложного профиля. Модель учитывает три источника тепла: энергию деформации (q_d), энергию трения обрабатываемой поверхности с задней поверхностью зерна (q_{tz}) и энергию трения стружки о переднюю поверхность зерна (q_{tp}). Элементарные источники тепла от каждого абразивного зерна представлены в виде трех совокупных источников Q_d , Q_{tp} , Q_{tz} (рис. 3).

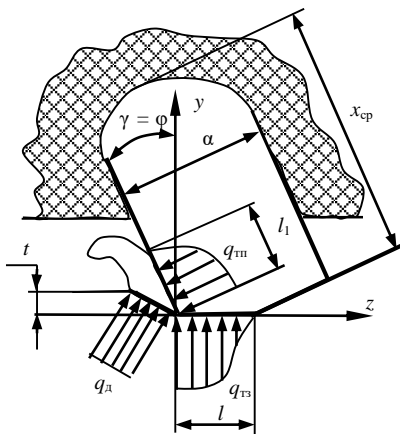


Рис. 2. Режущий выступ зерна и источники тепла по А. Н. Резникову

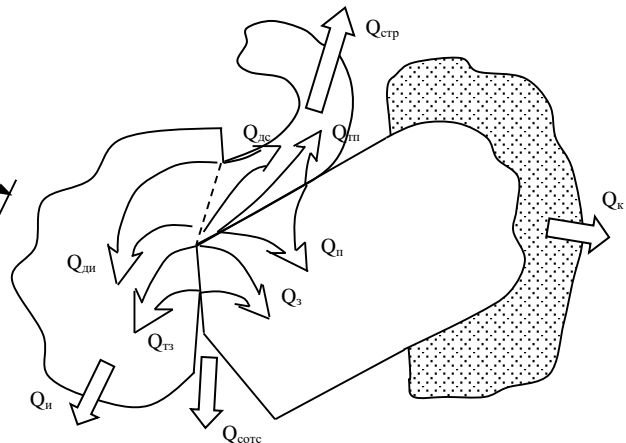


Рис. 3. Схема движения тепловых потоков при резании зерном

Q_d отображает теплоту деформации, возникающую в области плоскости сдвига обрабатываемого материала. Она распределяется между стружкой $Q_d b^*$ и изделием $Q_d (1 - b^*)$. $Q_{тп}$ и $Q_{тз}$ отображают тепло, возникающее в результате трения при относительном движении стружки и передней поверхности абразивного зерна, а также обрабатываемой поверхности и задней поверхности режущего зерна соответственно. Тепло от указанных источников распределяется между телами, участвующими в процессе шлифования, с учетом динамики термомеханической системы. Оно перераспределяется между заготовкой, инструментом, стружкой и СОТС (рис. 3).

После составления методом прямой аналогии математических моделей подсистем их объединяют в единую глобальную термомеханическую систему глубинного шлифования.

Заключение. Полученная математическая модель термомеханической системы глубинного шлифования отображает динамическое взаимодействие разнородных физических процессов: упругой механической системы, рабочего процесса и тепловых процессов при глубинном шлифовании опорных поверхностей лопаток ГТД и позволяет прогнозировать качество обработки.

Список использованных источников

1. Никитин, С. П. Математическое моделирование шлифовального станка с учетом взаимодействия упругой, тепловой подсистем и рабочего процесса / С. П. Никитин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2013. – Т. 15, № 4(2). – С. 391 – 395.
2. Никитин, С. П. Моделирование процесса резания при шлифовании с учетом взаимодействия упругой и тепловой систем / С. П. Никитин // Вестник УГАТУ. – Уфа, Россия, 2009. – Т. 12, № 4(33). – С. 61 – 65.
3. Полетаев, В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога / В. А. Полетаев, Д. И. Волков. – М. : Машиностроение, 2009. – 272 с.
4. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с

АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТРАНСПОРТНОМ И ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 681.5

В. А. Носенко¹, А. А. Силаев¹, С. Б. Гредников²

¹ (Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ, Волжский, Россия,
e-mail: vladim.nosenko2014@yandex.ru, aa_silae@mail.ru);

² (ООО «Волгопромавтоматика», Волжский, Россия, e-mail: mrzerg@mail.ru)

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. Прослеживаемость производства улучшает систему управления производством. Для организации прослеживаемости необходимо идентифицировать продукцию, сырье и комплектующие на всех этапах производства. В работе рассмотрена функциональная модель системы автоматической идентификации и прослеживаемости продукции. Отдельно рассмотрен пример построения системы для сборочного производства. На основе предложенной модели можно составить техническое задание по разработке системы автоматической идентификации и прослеживаемости продукции.

Ключевые слова: прослеживаемость продукции, идентификация продукции, сборочное производство, управление производством, резинотехническое производство.

V. A. Nosenko¹, A. A. Silaev¹, S. B. Grednikov²

¹ (Volzhsky Polytechnic Institute (branch) VSTU, Volzhsky, Russia),

² (LLP “Volgopromautomatica”, Volzhsky, Russia)

FUNCTIONAL MODEL OF THE AUTOMATIC IDENTIFICATION AND TRACEABILITY SYSTEM FOR THE RUBBER INDUSTRY

Abstract. Production traceability improves the production management system. To organize traceability, it is necessary to identify products, raw materials and components at all stages of production. The paper considers a functional model of a system for automatic identification and product traceability. Separately considered is an example of building a system for assembly production. Based on the proposed model, it is possible to draw up a technical task for the development of a system for automatic identification and traceability of products.

Keywords: product traceability, product identification, assembly production, production management, rubber production.

Введение. Прослеживаемость производства существенно улучшает систему управления производством за счет решения следующих задач:

– «прозрачность» системы управления производственным процессом и прослеживаемость производственного цикла;

- повышение производительности труда;
- оперативный контроль производственных мощностей;
- снижение брака за счет раннего обнаружения несоответствующей продукции [1, 2].

Согласно ГОСТу [3] прослеживаемость продукции на производстве позволяет с помощью средств идентификации проследить:

- происхождение материалов и комплектующих;
- предысторию производства продукции;
- распределение и местонахождение продукции на складе.

В целом система автоматической идентификации и прослеживаемости на производстве (САИПП) – это автоматизированная система, которая позволяет собирать, контролировать и анализировать информацию о технологических операциях, персонале и ресурсах, задействованных в процессе производства [4].

В целом прослеживаемость продукции представляет собой процесс формирования технологической документации, в которой делаются записи о проведенных технологических и контрольных операциях [5].

Различают два типа прослеживаемости:

- внутренняя прослеживаемость (в предприятия);
- цепная прослеживаемость (полное отслеживание продукции на этапах ее жизненного цикла) [6].

В данной статье основное внимание будет уделено прослеживаемости продукции в рамках предприятия.

Анализ литературных источников [7, 8] показал, что система идентификации и прослеживаемости продукции должна поддерживать, как минимум, два дополняющих друг друга вида прослеживаемости:

- прослеживаемость маркированной продукции;
- документарная прослеживаемость продукции.

Рассмотрим функциональную модель САИПП на примере производства резинотехнических изделий, так как для сборочных производств, где учет большего количества материалов и комплектующих на всех технологических и контролируемых операциях является ключевым фактором для повышения эффективности организации и планирования производства.

Основная часть. Можно выделить основные бизнес-области, входящие в систему САИПП:

- управление сырьевыми потоками;
- управление производственными процессами;
- управление готовой продукцией;
- управление информационными потоками.

Для разработки функциональной модели САИПП были определены функции, подлежащие автоматизации в рамках прослеживаемости продукции, для каждой бизнес-области.

Управление сырьевыми потоками:

- входной контроль сырья;
- прием сырья на склад;
- отпуск сырья в производство;
- интеграция с измерительным, весовым и идентификационным оборудованием для обеспечения онлайн-передачи данных в систему на всех точках учета.

Управление производственными процессами:

- оперативный (в режиме реального времени) учет и управление на всех стадиях производственного процесса, с поддержкой настраиваемого количества точек учета по переделам;
- по каждой точке учета количественный и стоимостный учет сырья, материалов и полуфабрикатов, использования оборудования, персонала;
- поддержка контроля качественных характеристик сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех стадиях производственного процесса.

Управление готовой продукцией:

- оперативный учет сдачи готовой продукции на склад;
- учет и хранение готовой продукции в складе;
- управление отгрузкой со склада по выписанным накладным;
- интеграция с идентификационным оборудованием для обеспечения онлайн-передачи данных в систему.

Управление информационными потоками:

- интеграция с существующими на предприятии и учетными и информационными системами.

Для формализации и описания бизнес-процессов резинотехнического производства разработана функциональная модель САИПП, представленная на рис. 1. В состав САИПП включены следующие стадии, которые присутствуют на любом резинотехническом производстве:

- хранение сырья и материалов;
- производство резиновых смесей;
- сборочное производство;
- вулканизационное производство;
- контроль качества готовой продукции;
- хранение готовой продукции;
- хранение и утилизация окончательного брака.

Сырье и материалы от поставщиков поступают на склад хранения сырья и материалов, где происходит их идентификация и учет, а также формирование партий. В систему прослеживаемости вносится информация по сырью и материалам.

После оформления плана выпуска продукции и понимания объемов производства, на основании технической базы формируются задания на смену и на каждый передел производственного цикла.

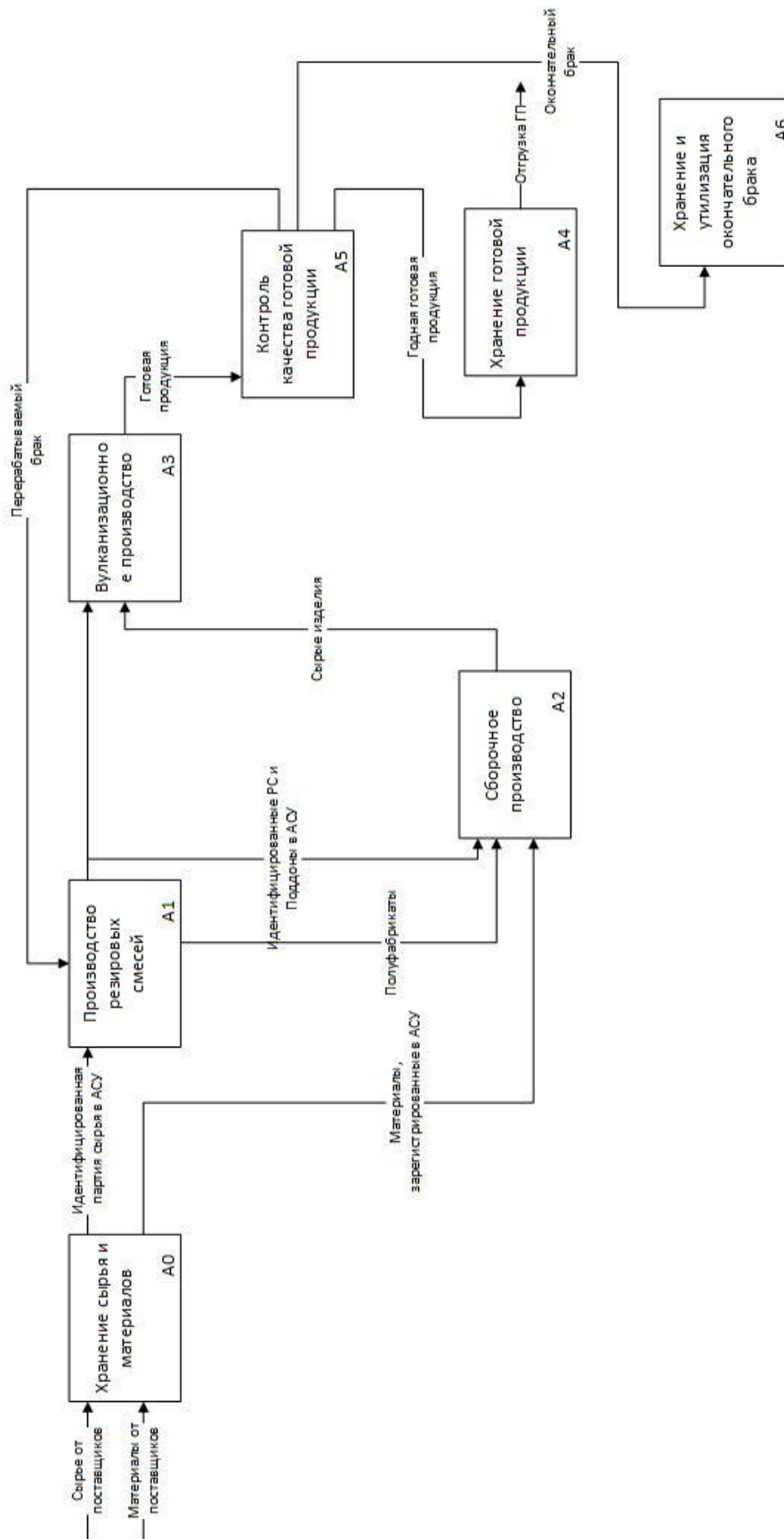


Рис. 1. Функциональная модель системы автоматической идентификации и прослеживаемости резинотехнической продукции

Идентифицируемая партия сырья и материалов поступает на первый передел – производство резиновых смесей. Здесь формируется цифровой паспорт на продукцию, в котором отражаются технические характеристики производства.

Если в производстве предусмотрено получение полуфабрикатов, то на них отдельно формируется цифровой паспорт. Это позволяет идентифицировать полуфабрикат и выдать всю требуемую информацию по нему.

На второй передел (сборочное производство) поступают идентифицированные полуфабрикаты, материалы от поставщиков, а также идентифицируемые поддоны.

Следующим переделом является вулканизационное производство.

Необходимо отметить, что система идентификации должна уметь идентифицировать и перерабатываемый брак, который образуется после прохождения процесса контроля качества готовой продукции.

После прохождения процесса контроля качества готовой продукции возможна печать паспорта, отражающего всю информацию по всему циклу выпуска продукции. Готовая продукция также маркируется с помощью элементов автоматической идентификации (qr-код или RFID-тэг). В обязательном порядке вся информация о технологическом пути изделия сохраняется в информационной системе предприятия.

Если в процессе изготовления продукции на конкретной станции в конкретном производственном цикле существует выпуск полуфабрикатов из сырья или других полуфабрикатов, выпущенных ранее, то такой факт также отражается в информационной системе. Например: функциональная модель для детализации сборочного производства, представлена на рис. 2.

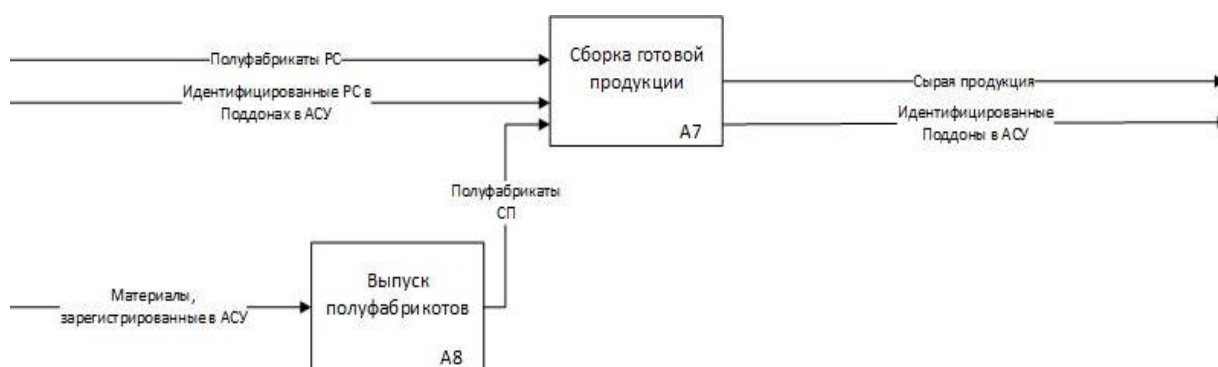


Рис 2. Функциональная модель для детализации сборочного производства

В данном примере видно, что перед основным процессом сборки продукции выполняется промежуточная операция. Данная операция должна быть зарегистрирована в системе как отдельное производственное задание на выпуск данного вида полуфабриката, а также сам факт его производства в отчете за смену, где должно быть отражено: кто, на каком оборудовании из какого сырья и когда произведен данный полуфабрикат.

Заключение. Функциональная модель системы автоматической идентификации и прослеживаемости резинотехнической продукции позволяет оценить реализацию автоматической идентификации и прослеживаемости продукции.

На основе предложенной модели можно составить техническое задание по разработке САИПП. В систему САИПП входят следующие бизнес-области:

- управление сырьевыми потоками;
- управление производственными процессами;
- управление готовой продукцией;
- управление информационными потоками.

Модель предусматривает детализацию конкретных стадий и может быть применима под любую специфику резинотехнического производства.

Список использованных источников

1. Васильева, С. Е. Методика многоуровневого технологического аудита качества на машиностроительном предприятии / С. Е. Васильева, Р. К. Крайнева // АНИ: экономика и управление. – 2016. – № 4. – С. 83 – 85.

2. Towards an Autonomous Industry 4.0 Warehouse: A UAV and Blockchain-Based System for Inventory and Traceability Applications in Big Data-Driven Supply Chain Management <https://doi.org/10.3390/s19102394>

3. ISO 9000. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary [Electronic resource] : International standard. – 3rd ed. – Introduce 15.09.2005. – URL : <https://shop.ic-safe.org/iso-9000-2005-quality-management-systems-fundamentals-and-vocabulary-pdf-download.htm>. – Title from screen

4. Система идентификации и прослеживаемости: [Электронный ресурс] // Инжиниринговое предприятие «Совтест АТЕ». 1991-2019. – URL : <https://sovtest-ate.com/equipment/sistema-identifikatsii-i-proslezhivaemosti-sip/> (дата обращения: 06.12.2019)

5. Котиков, В. Н. Внедрение системы прослеживания образцов лекарственных средств / В. Н. Котиков, В. А. Петросянц // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. – 2015. – № 3. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sistemy-proslezhvaniya-obraztsov-lekarstvennyh-sredstv> (дата обращения: 09.11.2019).

6. Building an Identification System : [Электронный ресурс] // Traceability Solutions. – 2019. – URL : https://www.keyence.com/ss/products/marking/traceability/intro_system.jsp. (дата обращения: 06.04.2019).

7. Макаров, А. С. Системы и способы идентификации животных в обеспечении эпизоотического благополучия региона / А. С. Макаров, Н. М. Василевский, Д. В. Хайруллина // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. – 2013. – № 3. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-i-sposoby-identifikatsii-zhivotnyh-v-obespechenii-epizooticheskogo-blagopoluchiya-regiona> (дата обращения: 09.11.2019).

8. Павлова, Я. В. Отечественный и зарубежный опыт применения информационных систем обеспечения электронного сопровождения грузов / Я. В. Павлова, С. И. Сакович // БИТ. – 2019. – № 1(9). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-i-zarubezhnyy-opyt-primeneniya-informatsionnyh-sistem-obespecheniya-elektronnogo-soprovozhdeniya-gruzov> (дата обращения: 09.11.2019).

М. С. Николюкин, А. Д. Обухов, О. А. Соколинская
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: chlppyone@ mail.ru)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОТРАСЛИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Аннотация. Описываются подходы к проектированию информационных систем в сфере машиностроения. Рассмотрен метод проектирования ООАП, а также инструмент для автоматизации проектирования. Предложено решение, позволяющее полностью автоматизировать процесс проектирования информационных систем, с использованием средств языка программирования Python и методов адаптации.

Ключевые слова: проектирование, автоматизация, ООАП, UML, адаптация.

M. S. Nikolykin, A. D. Obukhov, O. A. Sokolinskaya
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

AUTOMATION OF THE DESIGN PROCESS INFORMATION SYSTEMS IN THE ENGINEERING INDUSTRY

Abstract. The article describes approaches to the design of information systems in the field of mechanical engineering. The method of OOAP design is considered, as well as a tool for design automation. A solution is proposed that allows to fully automate the process of designing information systems using the Python programming language and adaptation methods.

Keywords: design, automation, OOAD, UML, adaptation.

При реализации информационных систем (ИС) для отрасли машиностроения важной задачей является автоматизация процесса проектирования как отдельных модулей системы, так и процессов обработки и анализа данных. На этапе проектирования ИС формализуются логическая структура ИС, компоненты системы, связи между ними, процедуры взаимодействия пользователей с системой. Для описания проектируемой архитектуры информационных систем проектировщиками применяются различные подходы и методологии. На сегодняшний день одним из распространенных методов является объектно-ориентированный анализ и проектирование (ООАП). В данной работе рассмотрим возможность его применения для автоматизации процесса проектирования ИС в сфере машиностроения.

Метод ООАП основан в большей степени на использовании и тесной интеграции с языком унифицированного моделирования – UML. Основная идея использования данного языка – возможность моделировать различные системы как наборы взаимодействующих объектов [1].

Для описания системы с помощью UML используется ряд диаграмм. Диаграмма – это визуальное представление части модели в определенном разрезе или аспекте рассмотрения. Спецификация языка UML предлагает тринадцать различных типов диаграмм, представленных на рис. 1.

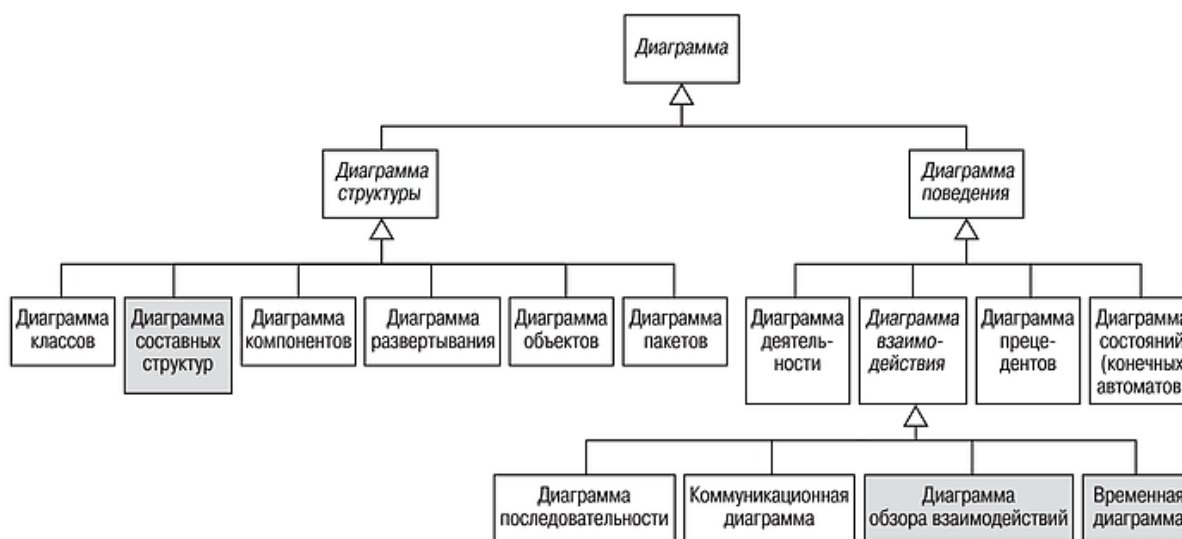


Рис. 1. Основные виды UML-диаграмм

Каждая из диаграмм позволяет получение формального представления системы с различных сторон. Так, например, диаграмма прецедентов описывает взаимодействие пользователей (актеров) с системой, диаграмма компонентов и развертывания показывает логическую и физическую структуры системы соответственно.

Для автоматизации проектирования ИС методом ООАП с использованием диаграмм UML применяются различные специализированные CASE-средства. Однако представленные на рынке программного обеспечения средства не всегда экономически оптимальны, так как многие из них не являются кроссплатформенными и имеют высокую стоимость.

В качестве альтернативы можно использовать универсальное кроссплатформенное решение с открытым исходным кодом, основанное на собственном скриптовом языке – PlantUML. Скриптовый язык, встроенный в PlantUML, является примером языка, специфичного для предметной области. Он использует инструмент Graphviz для рендеринга самих диаграмм.

Пример диаграммы компонентов, построенной с использованием данного инструмента вместе с исходным кодом скрипта, представлен на рис. 2.

У использования инструмента PlantUML имеются перспективы в организации полной автоматизации проектирования информационных систем. Так как язык описания диаграмм скриптовый, то полной автоматизации можно достичь с помощью генерации кода диаграммы, опираясь на какие-либо факторы внешней среды, т.е. осуществить адаптивное проектирование системы.


```

@startuml
DataAccess - [First Component]
[First Component] ..> HTTP : use
@enduml

```

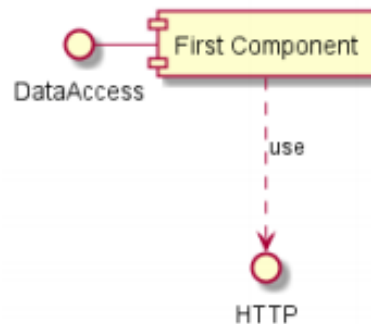


Рис. 2. Построение диаграммы компонентов с использованием PlantUML

Для автоматизации проектирования системы с помощью PlantUML также могут использоваться современные средства программирования в комплексе с различными библиотеками, API и фреймворками, например, язык программирования Python. Его выбор обоснован тем, что он имеет возможность работы с PlantUML посредством API, представленного библиотекой «Python-PlantUML».

Примерная архитектура предложенного выше решения в виде диаграммы компонентов представлена на рис. 3.

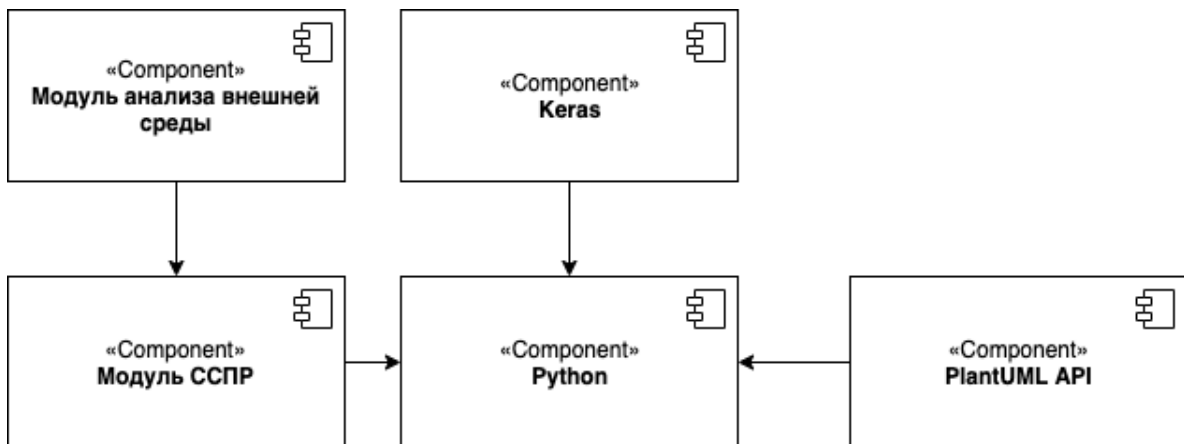


Рис. 3. Примерная архитектура предложенного решения

Данная архитектура включает несколько ключевых компонентов:

- модуль анализа внешней среды для выявления входных данных и параметров, влияющих на структуру ИС;
- модуль нейронной сети (Keras), функционирующий на основе библиотеки машинного обучения и реализующий процедуру формирования, обучения и использования нейронных сетей;

- модуль на языке программирования Python, выполняющий необходимые логические действия и функции передачи и обработки информации [2];
- модуль PlantUML API, используемый для работы с инструментом PlantUML;
- модуль системы поддержки принятия решений (СППР), используемый для выбора отдельных структурных элементов ИС на основе прогноза нейронной сети [3].

Недостатком предложенного подхода является необходимость сбора большого объема данных и длительное обучение модели нейронной сети для полноценного использования на производстве, так как отрасль машиностроения предъявляет особые требования к надежности функционирования ИС. Однако представленный подход при его успешной реализации в перспективе может быть востребован не только в сфере машиностроения, но и в других сферах, где проектирование системы может напрямую зависеть от постоянно меняющихся факторов внешней среды, а также позволит сократить материальные и временные затраты при повторном проектировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК-74.2020.9

Список использованных источников

1. Подход к проектированию пользовательского интерфейса в системах реального времени на базе онтологий / О. А. Бубарева, Н. С. Вайцель // Южно-Сибирский научный вестник. – 2018. – № 1. – С. 82 – 86.
2. О развитии адаптивного человеко-машинного интерфейса и критериях его оценки в учебных системах / Ю. С. Яковлев, Л. И. Курзанцева // Образовательные технологии и общество. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 547 – 563.
3. Нейросетевая архитектура информационных систем / А. Д. Обухов, М. Н. Краснянский // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 438 – 455.

С. В. Карпушкин, Н. В. Чичканов

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: karp@mail.gaps.tstu.ru, p.nikita1994@mail.ru)

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ НА СТАДИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

S. V. Karpushkin, N. V. Chichkanov

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

TEMPERATURE FIELDS CALCULATION OF INDUCTION HEATERS AT THE STAGE OF AUTOMATIC REGULATION

Аннотация. Предложена методика расчета температурных полей индукционных нагревательных плит на стадии автоматического ПИД-регулирования, позволяющая значительно сократить объем вычислений за счет расчета тепловыделений от вихревых токов на каждом шаге по времени в результате «масштабирования» тепловыделений, рассчитанных ранее на стадии разогрева. Такой подход позволяет использовать переменный шаг по времени без необходимости многократного решения уравнений электромагнитного поля.

Ключевые слова: вулканизационный пресс, индукционный нагрев, температурное поле, автоматическое регулирование.

Abstract. A method is proposed for calculating the temperature fields of induction heating plates at the stage of automatic PID-control, which makes it possible to significantly reduce the amount of calculations by calculating the heat release from eddy currents at each time step as a result of "scaling" the heat release calculated earlier at the heating stage. This approach allows the use of a variable time step without the need for multiple solutions of the electromagnetic field equations.

Keywords: vulcanizing press, induction heating, temperature field, automatic regulation.

Реализация процессов вулканизации резинотехнических изделий (РТИ) или термобработки пластиков включает стадию выдержки при строго определенной температуре. Наиболее часто для управления нагревательными устройствами используется ПИД-закон в форме широтно-импульсного регулирования: выходной сигнал регулятора Y , принимающий значения в диапазоне от 0 до 1, преобразуется в импульс, длительность (ширина) которого составляет

$$t_{imp} = t_{max} Y.$$

В это время происходит подача напряжения на нагреватели. Далее в течение времени $t_{max} - t_{imp}$ нагреватели отключены, а затем генерируется новый управляющий сигнал. Быстродействие современных контроллеров позволяет обновлять управляющий сигнал с периодом в $10^{-3} \dots 10^{-2}$ с. В связи с этим реализация математической модели, имитирующей реальную работу ПИД-регулятора, при расчете трехмерных температурных полей связана с большими затратами машинного времени. Например, моделирование периода

выдержки длительностью 30 мин при $t_{\max} = 1$ с потребует 3600 расчетных шагов по времени (по 2 шага на t_{\max}). На современном компьютере такой тепловой анализ может длиться десятки часов.

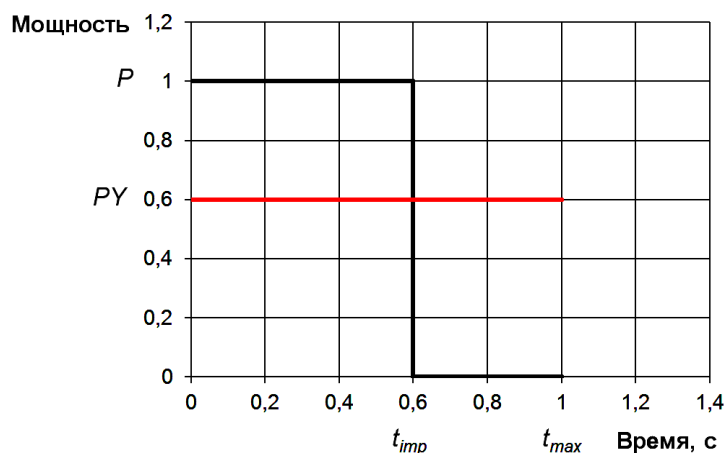


Рис. 1. Управляющий импульсный сигнал и его аппроксимация

Для снижения затрат машинного времени при расчете температурного поля на стадии выдержки, управляемой ПИД-регулятором, предлагается следующий подход. Период t_{\max} со ступенчатым изменением мощности от номинальной P до 0 аппроксимируется постоянным значением P_U (см. рис. 1). При этом вместо постоянного расчетного шага по времени t_{\max} применяется переменный, величина которого определяется на основе анализа второй производной температуры контрольной термопары: шаг увеличивается, если изменение температуры контрольной термопары приближается к линейному закону [1]. Таким образом, данная модель приближенно воспроизводит работу реального ПИД-регулятора по величине среднего управляющего воздействия, которое в итоге формирует температурное поле.

На рисунке 2 приведена схема расчета температурных полей индукционных нагревательных устройств, включающая расчет трехмерных полей вихревых токов [2]. На стадии разогрева при постоянной номинальной мощности использование модели ПИД-регулятора нецелесообразно, регулятор «включается» при выполнении условия

$$T_{sens} > T_{set} - T_{buff},$$

где T_{sens} — температура нагревательной плиты в месте установки контрольной термопары; T_{set} — установленная температура включения регулятора; T_{buff} — «буферная зона», использование которой позволяет избежать значительного перерегулирования (5÷15 К).

Поскольку в процессе нагрева электрическая проводимость материалов уменьшается, суммарная мощность тепловыделений постепенно снижается. Разные временные масштабы электромагнитных и тепловых процессов затрудняют совместное решение уравнений электромагнитного и теплового анализа [3]. При промышленной частоте электрического тока 50 Гц период его колебаний составляет 20 мс. Следовательно, для адекватного описания нестационарных электромагнитных процессов шаг по времени должен

быть не более 2 мс, что в условиях медленно протекающих тепловых процессов приводит к чрезмерному объему вычислений. Грубая оценка затрат машинного времени показывает, что совместное решение уравнений электромагнитной и тепловой модели индукционного нагрева реальной плиты пресса займет не менее 3 лет (из расчета 1 мин. на один шаг по времени при конечном времени нагрева 60 мин.). Поэтому для моделирования индукционного нагрева применяется последовательный тип анализа (см. рис. 2).

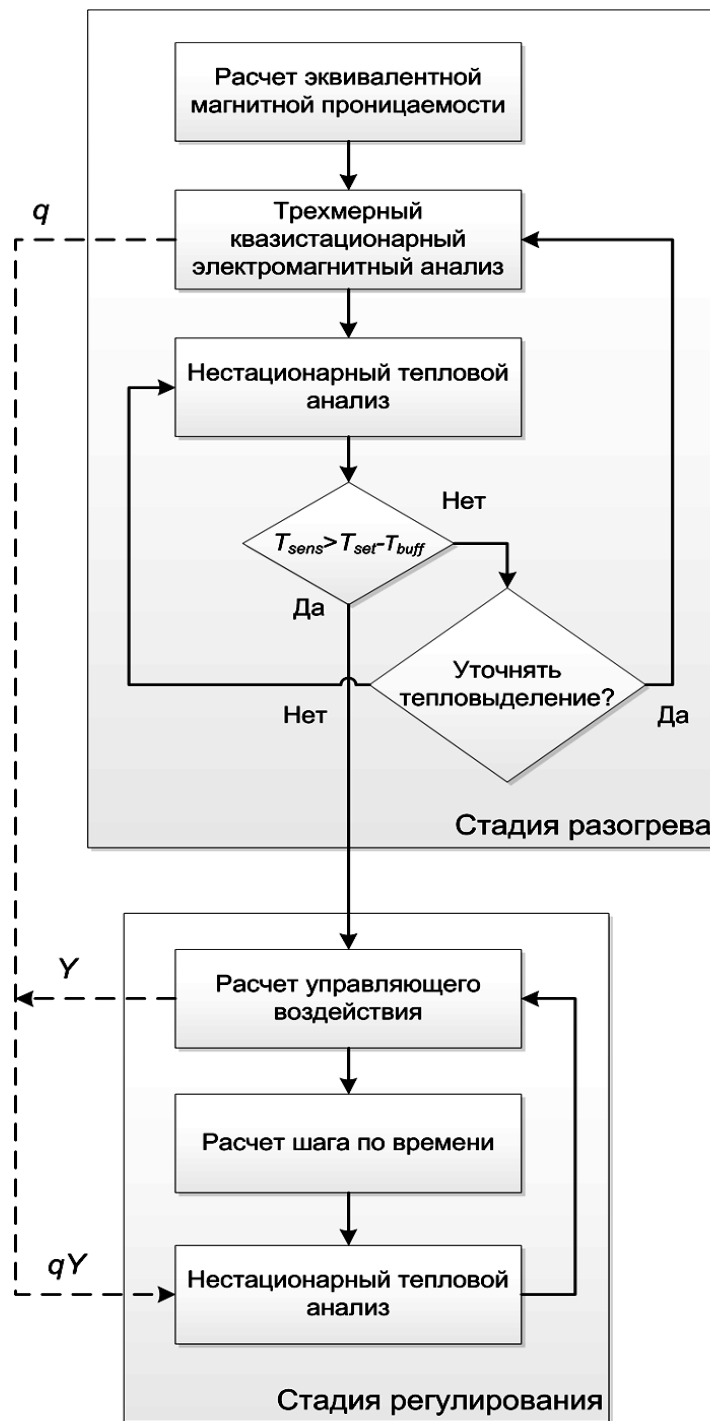


Рис. 2. Полная схема расчета температурных полей индукционных нагревательных устройств, включающая расчет трехмерных полей вихревых токов

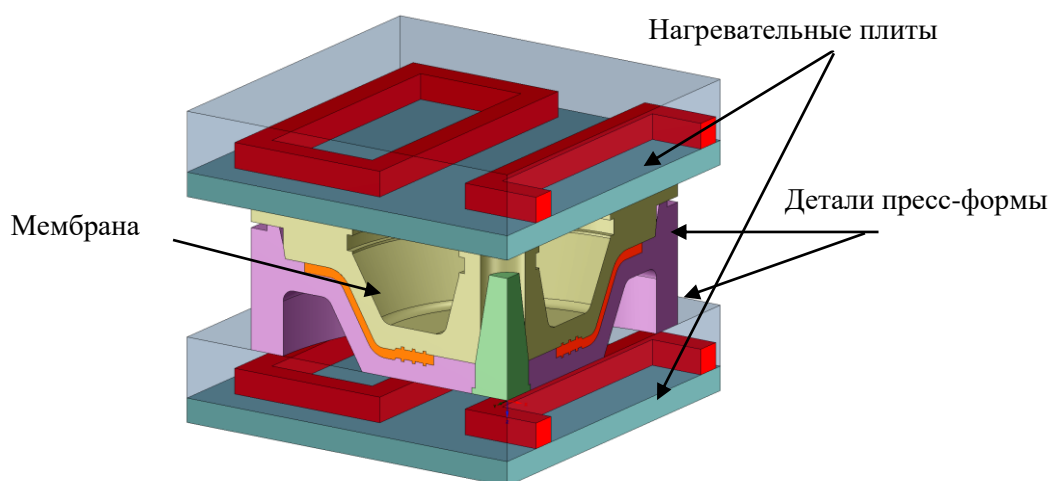


Рис. 3. Геометрия четверти расчетной системы «плита–пресс-форма–изделие»

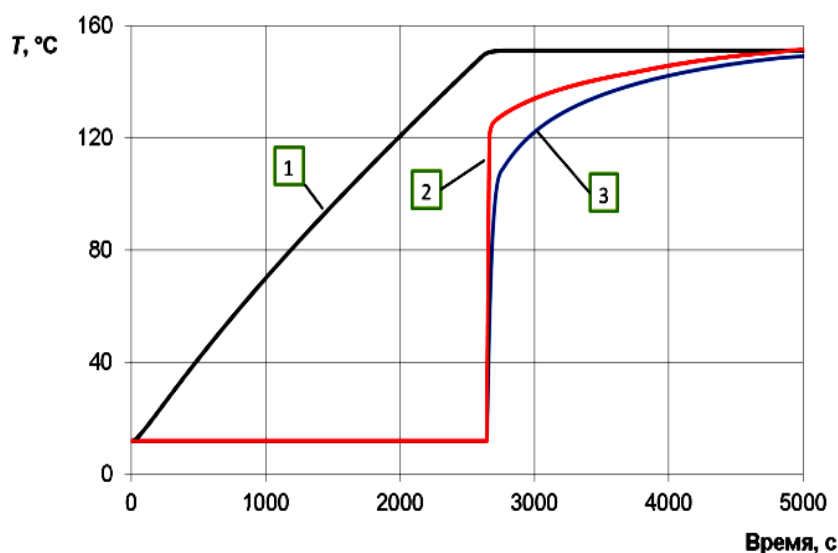
С использованием представленной методики расчета температурных полей индукционных нагревателей проведен расчет системы «плита–пресс-форма–изделие», цель которого состояла в определении перепада температур по объему изделия в течение периода вулканизации. На рисунке 3 представлена геометрия четверти расчетной системы: использована модель плиты общей средней мощностью 6080 Вт с шестью индукторами, управляемыми одним ПИД-регулятором. Между плитами расположена пресс-форма для изготовления мембраны, состоящая из трех деталей.

Согласно регламенту, разогрев плит и пустых пресс-форм проводится до достижения заданной температуры T_{set} в месте установки контрольной термопары. Затем плиты размыкаются, и в пресс-формы загружается резиновая смесь. Далее в течение регламентного времени вулканизации реализуется стадия прессования. Обычно в качестве T_{set} принимают температуру вулканизации резиновой смеси (в примере $T_{set} = 151$ °С). По причине сложности формализации процессы размыкания плит и загрузки резиновой смеси не моделировались: принято допущение, что загрузка происходит мгновенно при выполнении условия $T_{sens} > T_{set} - 1$.

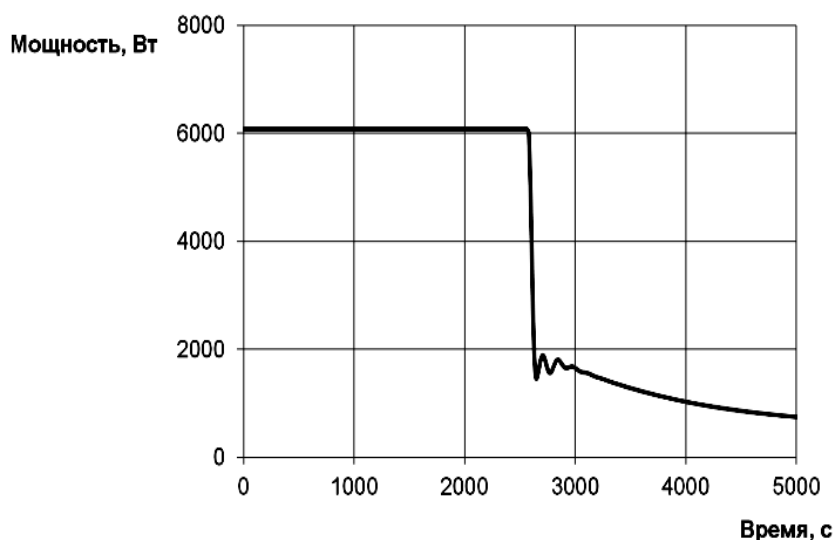
На рисунке 4, а приведены графики изменения температуры плиты в месте установки контрольной термопары и температуры изделия, загрузка которого произошла в момент времени 2645 с. Согласно регламенту, вулканизация мембраны длится 20 мин. По окончании этого отрезка времени средняя температура по объему изделия составила лишь 142,6 °С. Температура вулканизации резиновой смеси (151 °С) достигается через 39 мин после загрузки. На рисунке 4, б приведен график изменения мощности плиты. В интервале времени 2560 – 5000 с мощность плиты непрерывно снижается, не достигая стационарного значения.

Особый интерес при проектировании новых плит и анализе существующих конструкций представляет динамика перепада температур по рабочей поверхности (см. рис. 5). На стадии разогрева при максимальной мощности перепад температур увеличивается до 37,6 °С. Уменьшение мощности на стадии автоматического регулирования (см. рис. 4, б) приводит к выравниванию температурного поля. Наличие минимума

на графике перепада температур ($3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в момент времени 4500 с) объясняется особенностью конструкции нагревательной плиты: при максимальной мощности нагрев периферийной области происходит быстрее, чем нагрев центральной части. Экстремум на графике перепада температур характеризуется выравниванием температур угловой и центральной областей плиты. На прогрев центра плиты требуется энергия, затраты которой уменьшаются по мере роста температуры, чем объясняется постепенное снижение потребляемой мощности плиты на стадии автоматического регулирования.



а)



б)

Рис. 4. Изменение температур и мощности плиты во времени:

- а – графики температуры: 1 – в месте установки контрольной термопары;
- 2 – максимальная температура изделия; 3 – минимальная температура изделия;
- б – мощность, потребляемая плитой

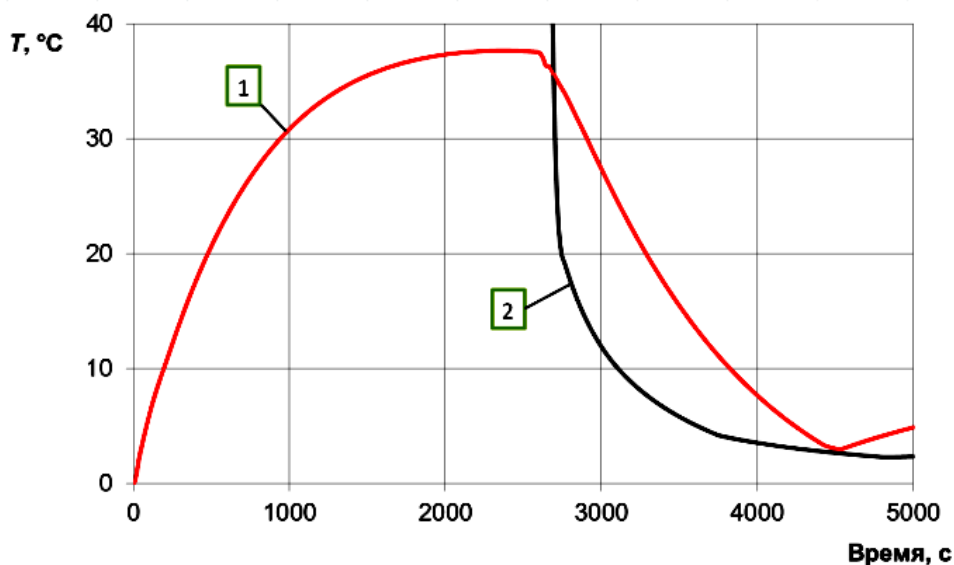


Рис. 5. Зависимости перепадов температур от времени:
 1 – на рабочей поверхности плиты; 2 – по объему изделия

Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод о необходимости выделения стадии стабилизации температурного поля: как правило, по окончании разогрева температурное поле нагревательной плиты и, следовательно, пресс-формы, не удовлетворяет техническим требованиям проведения процесса вулканизации. Для стабилизации температурного поля требуется некоторое время, которое зависит от конструкции плиты. Для рассмотренного примера это время составило примерно 25 мин.

Таким образом, предложена методика расчета температурных полей индукционных нагревательных плит на стадии автоматического ПИД-регулирования, позволяющая значительно сократить объем вычислений за счет расчета тепловыделений от вихревых токов на каждом шаге по времени в результате «масштабирования» тепловыделений, рассчитанных ранее на стадии разогрева. Такой подход позволяет использовать переменный шаг по времени без необходимости многократного решения уравнений электромагнитного поля.

Список использованных источников

1. Разработка и исследование математических моделей системы автоматического управления температурой нагревательных плит вулканизационного прессы для изготовления резинотехнических изделий / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 11. – С. 33 – 44.
2. Моделирование трехмерных полей вихревых токов при индукционном нагреве технологического оборудования / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин, Е. Н. Малыгин // Электротехника. – 2018. – № 3. – С. 70 – 76.
3. Глебов, А. О. Сравнение методик моделирования температурных полей индукционных нагревательных плит / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 7. – С. 23 – 28.

С. В. Карпушкин, Ю. А. Кардакова

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: karp@mail.gaps.tstu.ru, chikunyaschka@mail.ru)

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЛИТ ВУЛКАНИЗАЦИОННЫХ ПРЕССОВ

Аннотация. На основе анализа существующих требований к нагревательным плитам вулканизационных прессов для изготовления резинотехнических изделий предложен интегральный подход к проектированию плит, предусматривающий формирование на всей рабочей поверхности плиты поля температур заданного профиля. Основные положения и особенности этого подхода рассмотрены на примере проектирования нагревательной плиты для производства резиновых прокладок.

Ключевые слова: проектирование, нагревательная плита, моделирование, пресс-форма, вулканизационный пресс.

S. V. Karpushkin, U. A. Kardakova

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

INTEGRAL DESIGN APPROACH VOLCANIZATION PRESS HEATING PLATES

Abstract. On the basis of the existing requirements analysis for the heating plates of vulcanizing presses for the manufacture of industrial rubber goods, an integral approach to the design of plates is proposed, which provides for the formation of a temperature field of a given profile on the entire working surface of the plate. The main provisions and features of this approach are considered on the example of designing a heating plate for the production of rubber gaskets.

Keywords: design, heating plate, modeling, mold, vulcanizing press.

Традиционно отечественные производители вулканизационных прессов [1, 2] уделяют внимание равномерности температурного поля на рабочей поверхности плит. Например, согласно паспортным данным, плиты пресса 250 – 600 4Э производства АО «Завод Тамбовполимермаш» при средней температуре 170 °С имеют перепад температуры в различных точках рабочей зоны ± 3 °С, а при средней температуре 200 °С – ± 5 °С [3].

Практика показывает, что формирование заданного распределения температур на поверхности плиты не всегда является возможным из-за внешнего теплообмена [4 – 6]. Кроме того, плита пресса представляет собой сложную систему обогрева пресс-форм резинотехнических изделий (РТИ), задача которой – создание требуемого температурного поля в объеме прессуемого изделия. Для решения этой проблемы необходимо рассчитывать процессы распространения тепла в системе «плита–пресс-форма–изделие», причем данную задачу следует рассматривать как трехмерную нестационарную и учитывать нелинейные зависимости теплофизических свойств материалов от температуры нагрева.

Таким образом, качество продукции определяется степенью соответствия температурного поля в объеме изделия требованиям технологического регламента, прежде всего, степенью неравномерности. В общем случае, помимо системы обогрева, на температурное поле изделия влияют параметры пресс-формы (геометрия, теплофизические свойства материала) и ее расположение на поверхности плиты.

В промышленной практике наиболее распространен интегральный подход к проектированию нагревательных плит: формирование на всей рабочей поверхности плиты поля температур заданного профиля. Рассмотрим основные положения и особенности этого подхода на примере проектирования нагревательной плиты для производства резиновых прокладок (см. рис. 1). В качестве базовой конструкции использована промышленная плита 432.383.35, спроектированная и применяемая на АО «Завод Тамбовполимермаш».

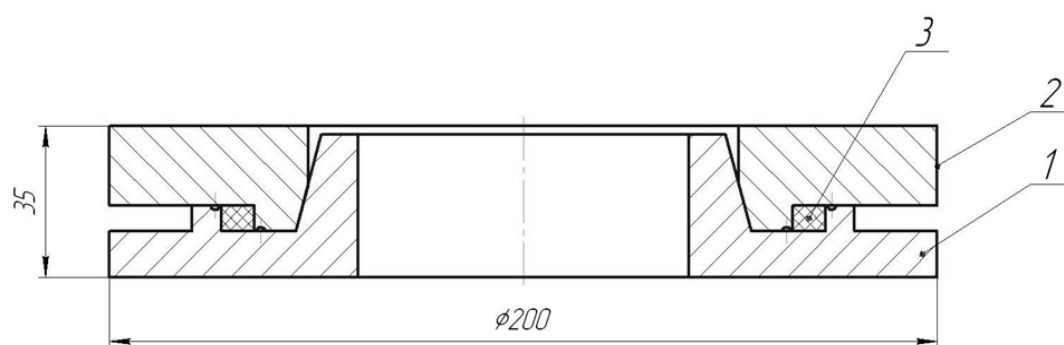


Рис. 1. Геометрия пресс-формы для изготовления прокладок

Необходимо получить равномерное температурное поле на рабочих поверхностях нагревательных плит пресса, причем ассортимент выпускаемых изделий и геометрия пресс-форм во внимание не принимаются. В некоторых случаях, согласно условиям технического задания, перепад температур по рабочей поверхности плиты не должен превышать ± 1 °С [7]. Следовательно, при необходимой температуре рабочей поверхности плиты 200 °С максимально допустимое отклонение от нее будет составлять 0,5%.

В этом случае предложенная ранее [4] постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо при заданных геометрических размерах (длине l , ширине s и высоте h) нагревательной плиты с индукционными нагревателями; характеристиках материалов плиты, ее крышки и провода индукторов; параметрах электрической сети (напряжении U и частоте f), диаметре провода индукторов d_{ik} найти число индукторов n_i , длину l_k и ширину s_k каждого индуктора, координаты центров всех индукторов на плоскости плиты $[x_{ck}; y_{ck}]$, число витков каждого индуктора n_k , ширину b_k и глубину z_k пазов под каждый индуктор, такие, что при достижении заданной температуры в месте установки контрольной термопары расчетный температурный профиль рабочей поверхности плиты минимально отличался бы от заданного:

$$\sqrt{\frac{1}{n+m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |T_{ij} - T_{ij}^*|} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T_{ij} – расчетная температура в точке рабочей поверхности плиты с координатами $(i \cdot hl; j \cdot hs)$, °C; T_{ij}^* – заданная температура нагрева плиты в той же точке рабочей поверхности, °C; hl, hs – дискретность заданного температурного профиля по длине и ширине плиты.

Поиск минимума функции (1) осуществляется при следующих ограничениях:

1) во всех указанных точках рабочей поверхности плиты расчетный температурный профиль должен отличаться от требуемого в пределах разрешенной погрешности:

$$\left| T_{ij} - T_{ij}^* \right| \leq \Delta T^*, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m, \quad (2)$$

где ΔT^* – максимально допустимое отклонение температуры на рабочей поверхности от заданной, °C;

2) разность между заданной конечной температурой нагрева плиты t^* и расчетной температурой в месте установки контрольной термопары t_k не должна превышать допустимой погрешности ε

$$\left| t_k - t^* \right| \leq \varepsilon; \quad (3)$$

3) ограничение на среднюю суммарную мощность плиты Q_p :

$$\sum_{k=1}^{ni} Q_{i_k} \leq Q_p; \quad (4)$$

где Q_{i_k} – мощность k -го индуктора, Вт;

4) ограничения на размеры индукторов:

$$li_k \in [li_*; li^*], si_k \in [si_*; si^*], \quad (5)$$

где li_* и si_* , – минимальные длина и ширина индукторов соответственно, м; li^* и si^* – максимальные длина и ширина индукторов соответственно, м;

5) ограничение на коэффициент мощности и КПД индукционного нагрева:

$$\cos \varphi \geq \cos \varphi_{\min}; \quad (6)$$

$$\eta \geq \eta_{\min}, \quad (7)$$

где $\cos \varphi_{\min}, \eta_{\min}$ – соответственно минимальный коэффициент мощности и КПД индукционного нагрева.

Проиллюстрируем применение интегрального подхода к проектированию нагревательной плиты размерами 600×600 мм, использующейся в вулканизационных прессах 250-600 2Э и 250-600 4Э производства АО «Завод Тамбовполимермаш» [3]. Начальная температура плиты равна 20 °C, конечная температура нагрева – 200 °C. Материал плиты – сталь 45. Для реализации теплового расчета использована методика, предложенная в [4].

Суммарная мощность плиты при средней температуре нагрева 6500 Вт. Она имеет шесть прямоугольных индукторов, причем два более мощных центральных индуктора расположены ближе к краю плиты. Схема размещения индукторов на промышленном образце плиты представлена на рис. 2.

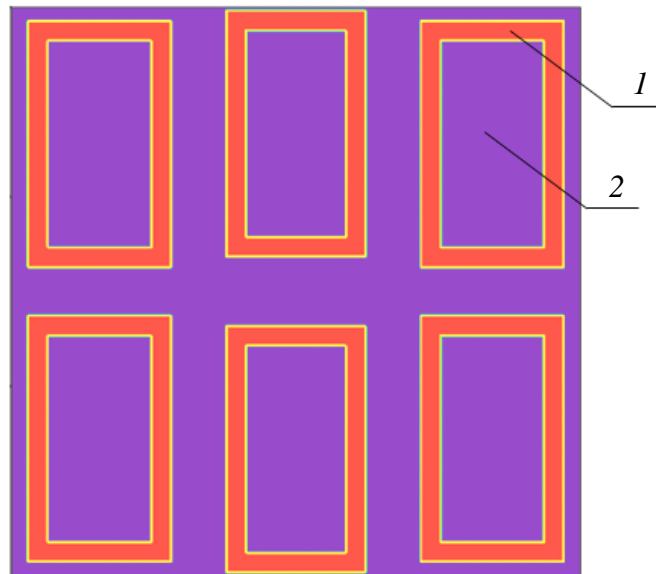


Рис. 2. Конфигурация промышленной нагревательной плиты, предназначенной для получения равномерного температурного поля на всей рабочей поверхности плиты:
1 – индуктор; *2* – плита

Результаты теплового расчета этой плиты представлены на рис. 3 и в табл. 1. По результатам расчета сток тепла в воздух составил 2294 Вт.

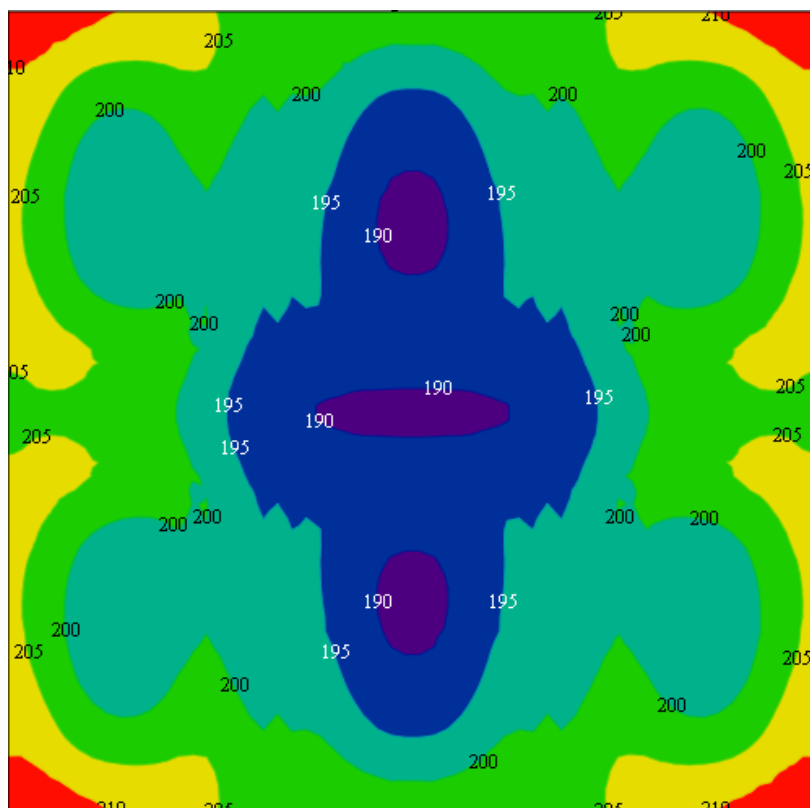


Рис. 3. Температурное поле нагревательной плиты 600×600 мм, при средней температуре по поверхности 200 °С

1. Результаты теплового расчета нагревательной плиты 600×600 мм

Характеристика температурного поля	Значение
Продолжительность нагрева от начальной температуры (20 °С) до конечной (200 °С), с	2560
Максимальная температура, °С	211,632
Минимальная температура, °С	189,058
Максимальная разница температур по поверхности, °С	22,574
Дисперсия температуры по рабочей поверхности, °С	5,308
Среднее отклонение температуры по рабочей поверхности, °С	4,359

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что полученное при использовании интегрального метода проектирования температурное поле не удовлетворяет требованиям технического задания, так как отклонение температуры от требуемой (более 20 °С) больше допустимого.

Как видно, получение равномерного поля на всей рабочей поверхности плиты имеет существенное достоинство: спроектированные таким образом плиты универсальны и подходят для выпуска широкого ассортимента РТИ. В то же время опыт эксплуатации и численные расчеты плит [4] показывают, что такой подход к проектированию нагревательных плит иногда оказывается неоптимальным по следующим причинам:

- реальный разброс температур на рабочей поверхности нагревательной плиты в лучших случаях составляет около 10 °С, зачастую превышая 15 °С;
- нарушается принцип энергосбережения, поскольку приходится увеличивать суммарную мощность плиты для компенсации тепловых потерь индукторов, расположенных вблизи краев рабочей поверхности;
- пресс-формы РТИ в процессе вулканизации занимают площадь, существенно меньшую, чем вся рабочая поверхность плиты, поэтому нет смысла нагревать всю эту площадь.

Таким образом, подобный подход целесообразно использовать при изготовлении продукции, имеющей соизмеримые с плитами пресса размеры (конвейерные ленты, резиношифер), а также в случае использования пресс-форм простой конфигурации для изготовления несложных изделий.

Список использованных источников

1. Каталог продукции АО «Завод Тамбовполимермаш». – URL : http://www.tambovpolymer.ru/katalog_id/33/ – Загл. с экрана.
2. Завод Красина: выпуск оборудования для переработки резины и пластмасс [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.zavodkrasina.ru/katalog/12>. – Загл. с экрана.
3. Пресс гидравлический вулканизационный 250-600 (1Э, 2Э, 4Э) [Электронный ресурс]. – URL : http://www.tambovpolymer.ru/katalog_id/33. – Загл. с экрана.
4. Малыгин, Е. Н. Методика теплового расчета нагревательных плит прессов для изготовления резинотехнических изделий / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, А. С. Крушати́н // Химическая промышленность сегодня. – 2009. – № 11. – С. 48 – 56.
5. Карпушкин, С. В. Моделирование процесса нагрева пресс-формы для производства резинотехнических изделий на индукционном вулканизационном прессе / С. В. Карпушкин, С. В. Карпов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 2/2. – С. 35 – 41.
6. Карпушкин, С. В. Разработка виртуальной модели температурного поля резинотехнического изделия в процессе его обработки на вулканизационном прессе / С. В. Карпушкин, С. В. Лавров, К. С. Корнилов // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 477 – 482.
7. Карпушкин, С. В. Моделирование устройств индукционного нагрева на примере индукционных нагревательных плит вулканизационных прессов (на английском языке) / С. В. Карпушкин, С. В. Карпов, А. О. Глебов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 1 – С. 110 – 120.

С. В. Карпушкин, Е. А. Инина

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: karp@mail.gaps.tstu.ru, elen68rus@mail.ru)

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЛИТ ВУЛКАНИЗАЦИОННЫХ ПРЕССОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Исследованы температурные поля промышленных резинотехнических изделий различной массы и конфигурации в процессе вулканизации в целях разработки рекомендаций для построения системы автоматического управления температурой нагревательных плит гидравлических прессов.

Ключевые слова: резинотехническое изделие, вулканизационный пресс, нагревательная плита, температурные поля, конечно-элементный анализ.

S. V. Karpushkin, E. A. Inina

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

TEMPERATURE CONTROL OF VOLCANIZING PRESS HEATING PLATES DURING RUBBER PRODUCTS MANUFACTURE

Abstract. The temperature fields of industrial rubber products with various weights and configurations in the vulcanization process were investigated in order to develop recommendations for forming a system for automatic temperature control for heating plates of hydraulic presses.

Keywords: rubber product, vulcanizing press, heating plate, temperature fields, finite element analysis.

Технологический процесс вулканизации резинотехнических изделий (РТИ) включает следующие операции:

- 1) пресс-формы без изделий помещаются между плитами пресса, где происходит их предварительный разогрев до рабочей температуры;
- 2) плиты размыкаются, сформованные изделия заданной массы помещаются в матрицы пресс-форм и прижимаются пуансонами;
- 3) плиты пресса смыкаются, и происходит нагрев пресс-форм и изделий при заданных температуре и давлении в течение регламентного времени вулканизации;
- 4) плиты размыкаются, происходит съём готовых изделий.

Управление температурой плит в течение всего рабочего цикла осуществляется по двухпозиционному закону регулирования. Включение и выключение нагрева плит осуществляется в зависимости от их температуры, измеряемой с помощью контрольных термопар.

Качество продукции во многом определяется равномерностью температурного поля в объеме изделия. На равномерность поля влияют параметры пресс-формы (геометрия,

теплофизические свойства) и системы ее обогрева (мощность и расположение нагревательных элементов – индукторов), позиционирование пресс-формы на поверхности плиты, теплофизические свойства материала плиты, а также параметры системы автоматического управления (САУ) температурой нагревательных плит.

На примере четырех типов промышленных РТИ, отличающихся объемом, массой и сложностью геометрии, см. рис. 1, исследованы температурные поля в процессе вулканизации в целях разработки рекомендаций для построения САУ температурой нагревательных плит при выпуске широкой гаммы РТИ.

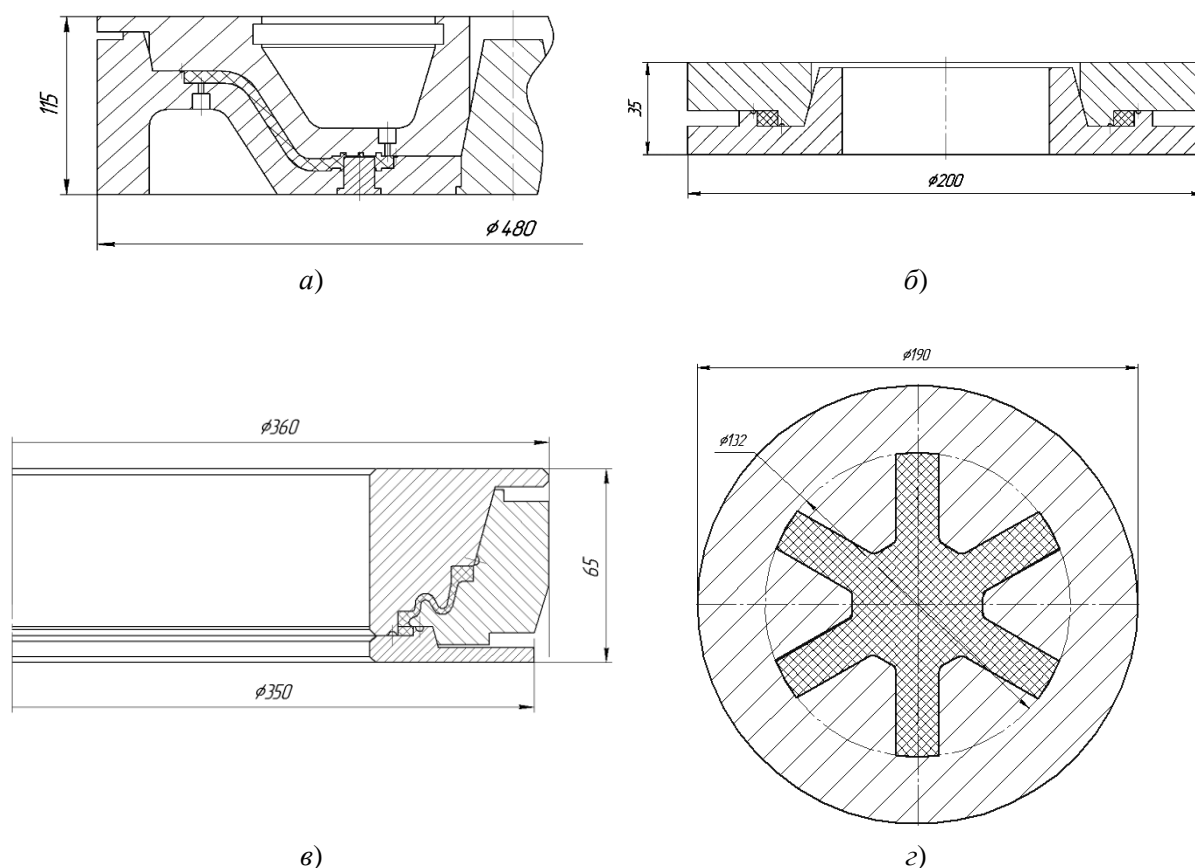


Рис. 1. Геометрия исследуемых РТИ:

a – мембрана; *б* – прокладка; *в* – пыльник; *з* – звездочка

Процесс проектирования нагревательных плит вулканизационных прессов основан на расчетах температурных полей системы «плита–пресс-форма–изделие». При проведении этих расчетов актуальной задачей является учет предварительного нагрева плит и пресс-форм: «холодные» изделия помещаются в нагретые пресс-формы, установленные на «горячих» плитах, следовательно, в момент размещения изделий температурные поля плит и пресс-форм являются неравномерными и нестационарными. Очевидно, что степень неравномерности этих полей влияет на температурное поле изделий в ходе вулканизации. Для учета этого обстоятельства при проведении расчетов температурных полей введены следующие допущения:

– согласно техническим характеристикам прессового оборудования [1], продолжительность смыкания плит составляет 12 с, размыкания – 5...10 с, поэтому продолжительности размыкания плит и размещения заготовок в пресс-формах, а также подпрессовок, пренебрежимо малы по сравнению с периодом предварительного нагрева и продолжительностью вулканизации;

– тепловые потери, возникающие при перезарядке пресс-форм, пренебрежимо малы.

– в период нагрева плиты до необходимой температуры на границе «пресс-форма–изделие» существует запирающий слой, имеющий нулевую теплопроводность;

– сразу после достижения необходимой температуры свойства изделий соответствуют свойствам каучука, на основе которого изготовлена резиновая смесь, см. [2].

Расчеты проведены в системе инженерного анализа ANSYS. Построение модели, задание граничных условий, изменение расчетного шага по времени осуществлено в соответствии с методикой, изложенной в [2 – 4].

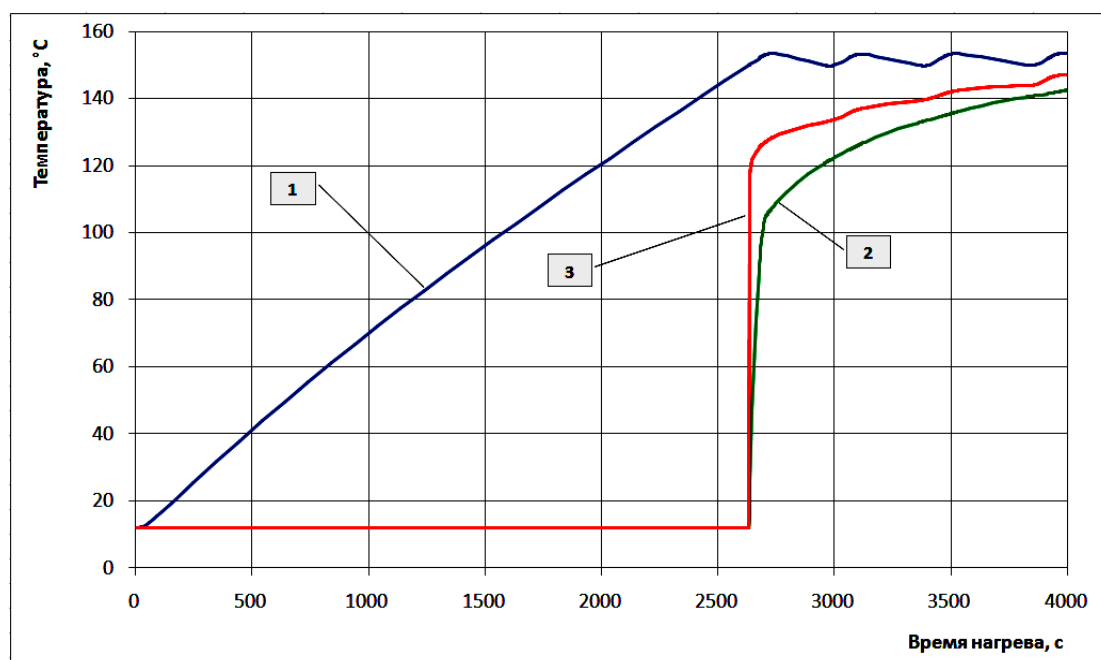


Рис. 2. Расчетные температуры, °C:

1 – контрольная термопара; 2, 3 – минимальная и максимальная температура мембраны

На рисунке 2 представлены результаты расчета системы «плита–пресс-форма–мембрана». Уставка регулятора на срабатывание $T_{set} = 151$ °C соответствует температуре вулканизации резиновой смеси ИРП-1347, применяемой для изготовления мембран. Время достижения контрольной термопарой (кривая 1) температуры загрузки изделия 150 °C составило 2630 с. Далее происходит загрузка резиновой смеси, что отражается на графиках скачкообразным увеличением температуры мембраны. Затем, в режиме автоматического регулирования, температура резиновой смеси постепенно увеличивается и достигает требуемого для вулканизации значения. Регламентное время вулканизации мембраны – 20 мин.

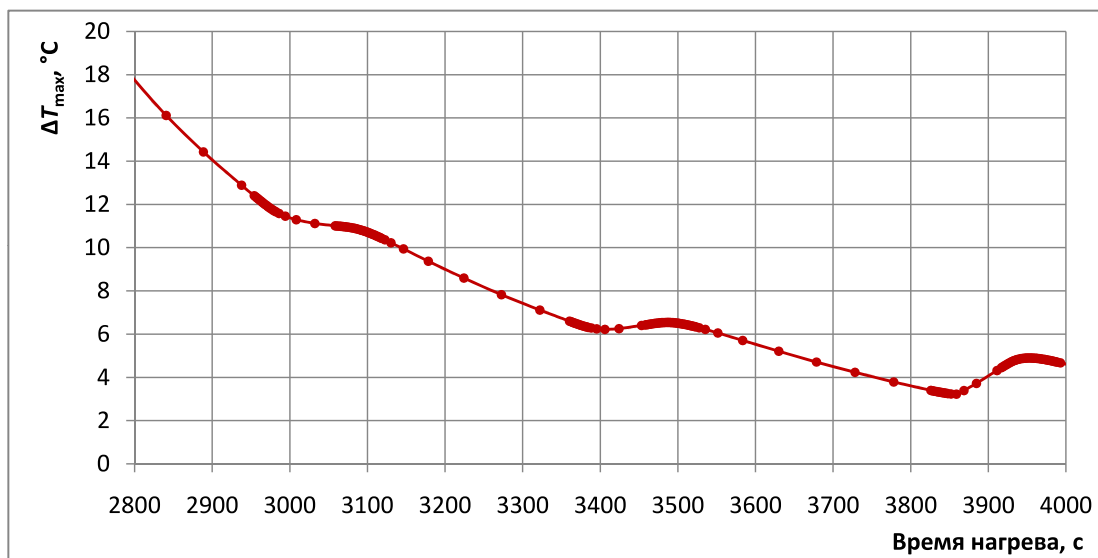


Рис. 3. Перепад температуры по объему мембраны в интервале 2800...4000 с, °C

На рисунке 3 показано изменение разности между максимальной и минимальной температурами в объеме мембраны в течение 2800...4000 с. Короткий период времени после загрузки изделия, где разность температур превышает 90 °C, исключен. Для рассматриваемого периода характерно плавное снижение разности температур (постепенный прогрев «холодных» областей мембраны). Колебания температуры, вызванные переключениями регулятора, сглаживаются пресс-формой и происходят с небольшим запаздыванием по отношению к контрольной термопаре. Минимальный перепад температур по объему мембраны за рассматриваемый период составил 3,2 °C.

Данные о минимальном ΔT_{min} , среднем ΔT_{av} перепадах температур для рассматриваемых в работе изделий (см. рис. 1) в течение времени вулканизации, а также число расчетных шагов и продолжительность расчета, сведены в табл. 1.

1. Результаты решения математической модели САУ температурой плит пресса

Изделие	ΔT_{min} , °C	ΔT_{av} , °C	Число расчетных шагов	Продолжительность расчета, ч
Мембрана	3,4	11,9	259	4,0
Прокладка	0,65	2,8	361	4,2
Пыльник	2,0	5,3	155	3,1
Звездочка	0,76	13,3	314	4,0

Высокие значения средних перепадов температур по времени (см. табл. 1) объясняются сильными температурными градиентами в изделиях при их загрузке. При этом

время прогрева изделий в большей степени зависит от их толщины, поэтому наибольшее значение среднего перепада температур наблюдается у звездочки.

Для мембраны, в силу особенностей пресс-формы, характерны высокие температурные перепады в течение всего периода вулканизации. Отметим, что сильное влияние на равномерность поля в изделии оказывает также продолжительность вулканизации: наименьшие перепады температур наблюдаются у изделий (прокладка и звездочка) с длительным периодом вулканизации (40 мин).

Выше было отмечено, что на температурное поле РТИ оказывают влияние многочисленные факторы. Прежде всего, это параметры пресс-формы, системы ее обогрева и внешнего теплообмена, а также расположение пресс-формы на поверхности плиты, параметры САУ температурой нагревательных плит.

В работе [5] предложена методика оценки эффективности пресс-форм для изготовления РТИ на вулканизационном прессе, основанная на математической модели стационарного нагрева одиночной пресс-формы в условиях внешнего теплообмена, позволяющая оценивать влияние конструкций пресс-форм на равномерность температурного поля в изделиях. Оценить влияние других факторов (параметры системы обогрева и САУ температурой) можно с применением методики, предложенной в [4].

2. Результаты расчетов температурных полей РТИ

	$\Delta T_{\text{стационар}}$		$\Delta T_{\text{нестационар}}$
	COMSOL(3D)	ANSYS(2D)	
Мембрана	–	0,43	3,4
Прокладка	0,01	0,018	0,65
Пыльник	0,74	0,46	2,0
Звездочка	0,42	–	0,76

В таблице 2 для рассматриваемых изделий представлены минимальные перепады температур в течение периодов вулканизации ($\Delta T_{\text{нестационар}}$) и результаты применения методики оценки эффективности пресс-форм ($\Delta T_{\text{стационар}}$). Последний показатель исключает влияние системы обогрева пресс-форм и нестационарности протекающих процессов и представляет собой минимально возможный перепад температур для данной конструкции пресс-формы. Из результатов расчетов видно, что для пыльника и звездочки влияние пресс-формы составляет значительную часть нестационарного перепада температур. Улучшения температурных режимов вулканизации таких изделий следует достигать оптимизацией конструкций пресс-форм. Для прокладки, напротив, подобные меры окажутся неэффективными, поскольку перепад температур в данном изделии при вулканизации вызван, прежде всего, неравномерностью температурных полей нагревательных плит. Для повышения качества изготовления мембран требуются комплексные решения: например, оптимизация конструкции пресс-формы, увеличение периода вулканизации,

использование плит, формирующих более равномерные температурные поля на рабочих поверхностях.

Таким образом, на температурное поле простых РТИ наибольшее влияние оказывают параметры системы обогрева пресс-форм и закон управления температурой вулканизации, а на температурное поле сложных РТИ – конструкция пресс-форм. Эти обстоятельства следует учитывать при оптимизации температурных режимов вулканизации.

Список использованных источников

1. Каталог продукции АО «Завод Тамбовполимермаш» – URL : http://www.tambovpolimer.ru/katalog_id/33/ – Загл. с экрана.

2. Карпушкин, С. В. Моделирование процесса нагрева пресс-формы для производства резинотехнических изделий на индукционном вулканизационном прессе / С. В. Карпушкин, С. В. Карпов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – № 2/2. – 2011. – С. 35 – 41.

3. Глебов, А. О. Сравнение методик моделирования температурных полей индукционных нагревательных плит / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // *Автоматизация в промышленности*. – № 7. – 2012. – С. 23 – 28.

4. Разработка и исследование математических моделей системы автоматического управления температурой нагревательных плит вулканизационного пресса для изготовления резинотехнических изделий / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2013. – № 11. – С. 33 – 44.

5. Карпов, С. В. Оценка эффективности пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий и системы их обогрева на вулканизационном прессе / С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. – № 3. – 2012. – С. 10 – 16.

С. В. Карпушкин, М. Н. Кузьмина

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: karp@mail.gaps.tstu.ru, e-mail: marina568226@icloud.com)

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ НАГРЕВА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ И ЕЕ ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Аннотация. Сформулирована общая задача определения параметров систем нагрева гидравлических прессов, предложена ее декомпозиция на задачи оптимизации элементов системы нагрева: выбора способа нагрева и определения конструкции нагревательной плиты, размещения обрабатываемых изделий на рабочей поверхности нагревательной плиты с учетом способа регулирования ее температуры, выбора материалов и определения значений толщин плит теплоизоляции. Определены информационные потоки между этими задачами.

Ключевые слова: система нагрева гидравлического пресса, оптимизация параметров элементов системы нагрева, информационные потоки.

S. V. Karpushkin, M. N. Kuzmina

(Tambov State Technical University, Russia, Tambov)

THE PROBLEM OF DETERMINING THE PARAMETERS OF HYDRAULIC PRESSES HEATING SYSTEMS AND ITS DECOMPOSITION

Abstract. The general problem of determining the parameters of heating systems for hydraulic presses is formulated, its decomposition into the problems of optimizing the heating system's elements is proposed: the choice of the heating method and the determination of the heating plate's design, the placement of the processed products on the heating plate's working surface, taking into account the method of regulating its temperature, the choice of materials and determination the thickness values thermal insulation plates. Information flows between these tasks are defined.

Keywords: hydraulic press heating system, parameters optimization of heating system elements, information flows.

Сфера применения гидравлических прессов, осуществляющих температурную обработку нагруженных изделий, охватывает производство резинотехнических изделий (РТИ), древесноволокнистых плит, композиционных материалов и изделий из пластмасс методом горячего прессования [1, 2]. Кроме того, гидравлические прессы востребованы в производстве высокоточных изделий из металлов на технологических операциях отпуски и изотермической штамповки [3]. Наибольшее внимание при проектировании и эксплуатации прессового оборудования уделяется системе нагрева пресса, элементами которой являются нагревательные плиты и собственно нагреватели, пресс-формы и

плиты теплоизоляции, отделяющие нагревательные плиты от опорных элементов конструкции (стол, рама или траверса).

Анализ научных публикаций по вопросам проектирования и эксплуатации прессового оборудования, см. [4], приводит к выводу, что существующие подходы ориентированы, в основном, на процессы объемной штамповки и разработку пресс-оснастки, а определению параметров систем нагрева внимания практически не уделяется.

Определение параметров системы нагрева гидравлического пресса включает принятие следующих решений:

- 1) выбор способа нагрева плит пресса (типа нагревателей): паровой, омический или индукционный;
- 2) определение необходимого числа, мощности нагревателей, их конфигурации и расположения в объеме плиты;
- 3) определение положения обрабатываемых изделий (пресс-форм с изделиями) на рабочей поверхности нагревательной плиты;
- 4) выбор материалов и определение необходимых толщин плит теплоизоляции, которые защищают опорные элементы конструкции пресса (стол, верхняя поперечина или траверса) от воздействия высоких температур.

Выбор способа нагрева плит ограничен заданием температур обработки изделий: применение парового нагрева при температурах свыше 200 °С и индукционного – свыше 250 °С, затруднительно [5].

Число (n_n), мощности (Q_n), конфигурация и расположение нагревателей должны обеспечивать требуемый темп нагрева (достижение рабочей температуры T_z в месте установки контрольной термопары за заданное время τ_z) и степень равномерности температурного поля плиты (отклонение значений минимальной и максимальной температуры от T_z не должно превышать заданного значения ΔT_n). Сумма значений Q_n не должна превышать заданной максимальной мощности нагревательной плиты (Q_{max}).

Конфигурация паровых каналов и трубчатых электронагревателей (ТЭНов) определяется числом, диаметром (d_n) каналов или отверстий под ТЭНы, расстоянием между их осями (h_{ni} , $i = 1, \dots, n_n - 1$). Форма и размеры индукторов обычно определяются стандартами конкретного предприятия, а их расположение в объеме нагревательной плиты ограничено минимальными расстояниями между пазами соседних нагревателей, пазом нагревателя и границей рабочей поверхности плиты. Конфигурация спиральных нагревателей определяется минимально допустимым радиусом изгиба оси спирали, допустимым перепадом температур в местах изгибов, а расположение, аналогично индукторам, – расстояниями между пазами соседних спиралей, пазом и границей рабочей поверхности плиты.

Расположение изделий заданной формы и размеров (пресс-форм заданной конструкции с размещенными в них изделиями) определяется размерами рабочей поверхности нагревательной плиты и требуемой степенью равномерности температурного поля в объеме изделия в течение периода (τ_n) его обработки: отклонение значений минимальной и

максимальной температуры от заданной ($T_{и}$) не должно превышать заданного значения $\Delta T_{и}$. Температурные поля изделий зависят также от выбранного способа стабилизации температуры нагревательных плит.

Выбор материалов ($m_{из}$) и определение необходимых толщин плит теплоизоляции ($h_{из}$) определяется максимальными температурами нагревательных плит и расстоянием (H) от верхней поперечины (траверсы) пресса до опущенного стола. Средняя температура поверхности теплоизоляции, соприкасающейся с элементами конструкции пресса, не должна превышать заданного значения ($T_{из}$), а сумма расстояний между раздвинутыми нагревательными плитами плюс сумма высот нагревательных плит и плит теплоизоляции не должна превышать значения H . Кроме того, необходимо контролировать значения температур между слоями теплоизоляции из различных материалов: они не должны превышать максимально допустимых для внешнего слоя.

В качестве критерия оптимальности разрабатываемой или реконструируемой системы нагрева гидравлического пресса предлагается использовать сумму амортизации ее стоимости и эксплуатационных затрат, связанных с ее энергоемкостью (затратами энергии от начала до окончания обработки одной партии изделий), за период выпуска изделий данного наименования.

Таким образом, задача определения параметров системы нагрева гидравлического пресса может быть сформулирована следующим образом: выбрать тип, определить число, мощности нагревателей, их конфигурации и расположение в объеме плиты, определить положение обрабатываемых изделий на рабочей поверхности нагревательной плиты, выбрать материал и толщину плит теплоизоляции, обеспечивающие выполнение всех вышеупомянутых ограничений и минимум суммы капитальных и эксплуатационных затрат на систему.

Разработка системы нагрева гидравлического пресса предусматривает определение и анализ полей температур нагревательных плит и нагревателей, пресс-форм и обрабатываемых изделий в процессе разогрева, стабилизации температурных полей в ходе обработки изделий, определение и анализ значений средних температур на внешних поверхностях всех плит теплоизоляции, изготовленных из разных материалов. Очевидно, что решение сформулированной задачи с учетом необходимости формирования и анализа температурных полей элементов системы нагрева потребует значительных вычислительных ресурсов и больших затрат времени. Поэтому предлагается декомпозировать ее на три локальные задачи:

- задачу А1 выбора способа нагрева и определения конструкции нагревательной плиты;
- задачу А2 размещения обрабатываемых изделий на рабочей поверхности нагревательной плиты с учетом способа регулирования ее температуры;
- задачу А3 выбора материалов и определения значений толщин плит теплоизоляции.

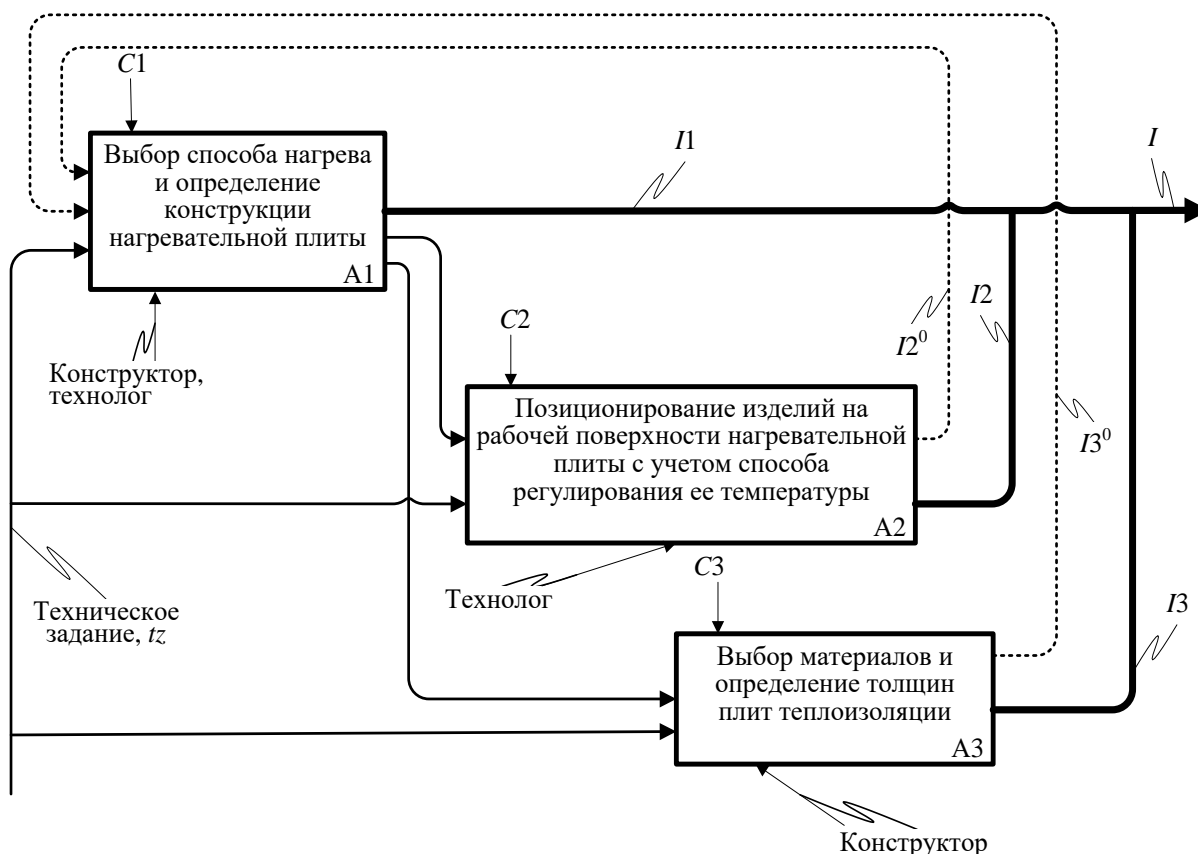


Рис. 1. Информационные потоки между задачами определения параметров системы нагрева гидравлического пресса

Информационные потоки между задачами A1, A2 и A3 представлены на рис. 1. На этом рисунке:

C1, C2, C3 – нормативные документы, используемые в расчетах температурных полей нагревательных плит пресса, изделий в процессе их обработки и температур поверхностей плит теплоизоляции;

I1 – результаты решения задачи A1: тип, число и мощности нагревательных элементов плиты пресса, их конфигурации и местоположение, температурное поле плиты по окончании периодов нагрева и стабилизации, перепады температур по рабочей поверхности плиты;

I2 – результаты решения задачи A2: перепад температур по партии изделий в стационарном режиме их обработки, параметры стабилизации температур рабочих поверхностей плит;

I3 – результаты решения задачи A3: средние температуры внешних поверхностей плит теплоизоляции;

I2⁰ – информация о проблемах обеспечения заданной температуры изделий в процессе обработки (недостаточные продолжительности периодов нагрева и стабилизации, слишком большие перепады температур по объему некоторых изделий);

$I3^0$ – проблемы элементов теплоизоляции (слишком большая толщина, повышенная температура внешних поверхностей).

Таким образом, сформулирована общая задача определения параметров систем нагрева гидравлических прессов, предложена ее декомпозиция на задачи оптимизации элементов системы нагрева, определены информационные потоки между локальными задачами.

Список использованных источников

1. Карпов, В. Н. Оборудование предприятий резиновой промышленности / В. Н. Карпов. – М. : Химия, 1987. – 336 с.

2. Басов, Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любартович. – М. : Химия, 1986. – 488 с.

3. Изотермическая деформация жаропрочных сплавов / Оспенникова О. Г., Ломберг Б. С., Моисеев Н. В. и др. // *Металлург.* – 2012. – № 10. – С. 88 – 92.

4. Покрас, И. Б. Использование САПР КОМПАС-3D для автоматизации проектирования технологии горячей объемной штамповки / И. Б. Покрас, Э. Р. Ахметзянов // *Интеллектуальные системы в производстве.* – 2009. – № 2. – С. 165 – 169.

5. Слухоцкий, А. Е. Индукторы / А. Е. Слухоцкий ; под ред. А. Н. Шамова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. – 69 с.

В. А. Немтинов¹, А. И. Сутормин¹, Ю. В. Немтинова^{1,2}

(¹ Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: nemtinov@mail.tstu.ru;

² Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина, Тамбов, Россия,
e-mail: yulia.nemtinova@yandex.ru)

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ ДОЛБЕЖНЫХ, СТРОГАЛЬНЫХ И ПРОТЯЖНЫХ СТАНКОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы информационной поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания долбежных, строгальных и протяжных станков перед началом и в ходе выполнения технологических операций, гарантирующих высокое качество готовой детали, способствующих повышению эффективности производства. Авторами разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений, позволяющая в зависимости от текущего состояния узлов и агрегатов станка и заданных требований к изготовлению деталей предложить оптимальный вариант проведения технологического обслуживания и наладки рассматриваемой группы станков. Апробация модели выполнена на примере реализации мероприятий при проведении технологического обслуживания станка 7Б35.

Ключевые слова: информационная поддержка принятия решений; информационно-логическая модель; технологическое обслуживание станка 7Б35.

V. A. Nemtinov¹, A. I. Sutormin¹, Yu. V. Nemtinova^{1,2}

(¹ Tambov State Technical University, Tambov, Russia;

² Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov, Russia)

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF SLOTTING, PLANING AND BROACHING MACHINES

Abstract. The issues of information support for decision-making during technological maintenance of slotting, planing and broaching machines before and during the execution of technological operations that guarantee high quality of the finished part and contribute to improving production efficiency are considered. The authors have developed an information and logical model for decision support, which allows, depending on the current state of the machine components and assemblies and the specified requirements for the manufacture of parts, to offer the best option for carrying out technological maintenance and adjustment of the considered group of machines. The model was tested on the example of implementation of measures during technological maintenance of the 7B35 machine.

Keywords: information support for decision-making; information and logical model; technological maintenance of the 7B35 machine.

Долбежные и строгальные станки – это виды станков, использующиеся для обработки плоскостей и поверхностей стальными резцами. Эти станки являются в наше время неотъемлемым оборудованием любого машиностроительного производства. Рассматривая

данный вид оборудования с точки зрения надежности, следует отметить, что они являются сложными техническими системами с жесткими обратными связями, и состоят из механической и электрической составляющей, для которых характерны ухудшение технических параметров в процессе эксплуатации.

Самому сильному физическому воздействию подвергаются в первую очередь движущие элементы – гидравлические системы и электрические приводы. Причем, именно гидравлика является основным «больным» местом в любом станке. Причина поломок гидравлики и смежных с ними систем достаточно банальная: уплотнители, прокладки и сальники крайне ненадежны и очень быстро дают протечки. Техническое масло начинает течь, попадая на пол и вызывая опасность для работника или в бак смазочно-охлаждающей жидкости. СОЖ при этом густеет, плохо прокачивается, вследствие чего инструмент перегревается, оказывает более жесткое воздействие на обрабатываемую деталь, провоцируя перегрев и даже поломку электропривода.

В российских машинах всех типов наиболее часто возникают всевозможные люфты, дробления, вибрации, отрицательно сказывающиеся на качестве обработки детали, или делающие невозможной работу станка.

Следует отметить, что какое бы совершенное автоматизированное оборудование не выпускалось, операции регулировки и настройки, а также контроль за этими параметрами будет присутствовать всегда. Это связано, во-первых, с износом рабочих органов, во-вторых, различием и совершенствованием технологий изготовления деталей. Исходя из этого, повышение качества выполнения всех механизированных работ возможно только при своевременном проведении технологического обслуживания используемой техники. Поэтому специалистам инженерной службы нужны глубокие знания не только по конструкции, теории рабочих процессов в станках, но и умение выполнять регулировку и настройку в зависимости от свойств и состояния обрабатываемого материала, технического состояния, износа деталей, узлов и механизмов [1].

В связи с этим данная работа посвящена вопросам разработки информационно-логической модели (ИЛМ) поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания станков перед началом и в ходе выполнения технологических операций.

Для формирования перечня мероприятий при проведении технологического обслуживания долбежного, строгального и протяжного оборудования необходимо руководствоваться основными документами, регламентирующими проведение проверки, регулировки и настройки; инструкций по эксплуатации заводов изготовителей, технических условий на отдельные узлы и детали.

Основными критериями качества являются: безопасность и легкость обслуживания; точность работы; эксплуатационная надежность; производительность; материалоемкость; технологичность; себестоимость; уровень эксплуатационных расходов.

Необходимая и достаточная точность работы станка должна соответствовать в течение всего срока его службы заданным показателям точности (допускам) размеров и формы обработанных на нем деталей. Эксплуатационная точность станка определяется его геометрической кинематической и динамической точностью, т.е. способностью достаточно устойчиво сохранять свою форму и размеры неизменными при действии

наибольших сил резания, веса обрабатываемой заготовки и вызываемых ими реактивных сил и моментов. Требуемая точность работы станка достигается правильной его компоновкой, достаточными жесткостью узлов и целого станка и виброустойчивостью. Эксплуатационную надежность станка, как и всякой другой системы, можно определить как способность обеспечить выполнение задания в установленном объеме, обусловленную главным образом безотказностью и ремонтпригодностью.

В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания сельскохозяйственных машин перед началом и в ходе выполнения технологических операций представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное производственное правило, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей [2–3]: антецедента и консеквента.

Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по формированию перечня мероприятий технологического обслуживания строгального станка перед началом и в ходе выполнения технологических операций. Они собраны специалистами по прикладным знаниям (экспертами) [7] и авторами в процессе контактов со специалистами по обслуживанию долбежного оборудования.

В настоящее время база содержит более 200 производственных правил, с помощью которых может быть сформирован оптимальный перечень мероприятий технологического обслуживания станочного оборудования.

Ниже приведен пример правил применительно к универсальным поперечно-строгальным станкам на примере 7Б35.

а) Правила выбора мероприятий при получении брака при работе на строгальном станке 7Б35

– если «брак при выполнении технологических операций» = «повышенный износ, выкрашивание режущих кромок и поломка инструмента», то «неправильная заточка инструмента» = «сменить инструмент»;

– если «брак при выполнении технологических операций» = «повышенный износ, выкрашивание режущих кромок и поломка инструмента», то «повышенный припуск на обработку» = «установить припуск в соответствии с технологической картой»;

...

Для реализации информационно-логической модели использована программная среда экспертной системы *CLIPS*, включающей полноценный объектно-ориентированный язык *COOL*.

Список использованных источников

1. Ситников, А. «Слабые места» отечественных станков [Электронный ресурс] / А. Ситников. – URL : https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_411
2. Rationale construction of individual elements of technological complex, MATEC Web of Conferences / К. Nemtinov, А. Eruslanov, Yu. Nemtinova, V. Nemtinov. – 02036. – 2018. – V. 224.
3. Nemtinov, V. A. On an approach to designing a decision making system for state environmental examination / V. A. Nemtinov, Yu. V. Nemtinova // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2005. – V. 44(3). – P. 389 – 398.

Ф. И. Вшивков, С. А. Рачкова, М. С. Калистратов

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,

e-mail: vshivkovf1@yandex.ru)

IDEF0-ДИАГРАММА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. Описана функциональная модель проектирования кожухотрубчатых теплообменников, предназначенная для создания системы автоматизированного проектирования, включающей расчеты и разработку конструкторской и технологической документации.

Ключевые слова: кожухотрубчатые теплообменники, автоматизированное проектирование, функциональная диаграмма.

F. I. Vshivkov, S. A. Rachkova, M. S. Kalistratov

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

IDEF0 DIAGRAM HEAT EXCHANGER DESIGN

Abstract. A functional design model for shell-and-tube heat exchangers is described. It is intended for creating a computer-aided design system that includes calculations and development of design and technological documentation.

Keywords: shell-and-tube heat exchangers, computer-aided design, functional diagram.

Кожухотрубчатые теплообменники (КТ) одни из самых распространенных видов аппаратов в химической промышленности. Существующие САПР оборудования химических производств охватывают отдельные этапы проектирования КТ, что является препятствием для минимизации участия человека в проектных работах и сокращения времени выполнения проекта.

На рисунке 1 представлена функциональная модель проектирования КТ.

Основные информационные потоки:

TZ – техническое задание на проектирование теплообменника (физические, коррозионные, взрывопожароопасные, токсические свойства теплоносителей, производительность, начальная и конечная температура первого теплоносителя, начальная температура второго теплоносителя);

I_1 – поверхность теплообмена, расход и конечная температура второго теплоносителя;

I_2 – конструкторская документация (чертежи, спецификация, результаты расчета на прочность);

I_3 – технологическая документация (маршрутно-операционные карты, ведомости материалов и покупных изделий);

I_4 – результаты расчета себестоимости и возможные пути ее снижения.

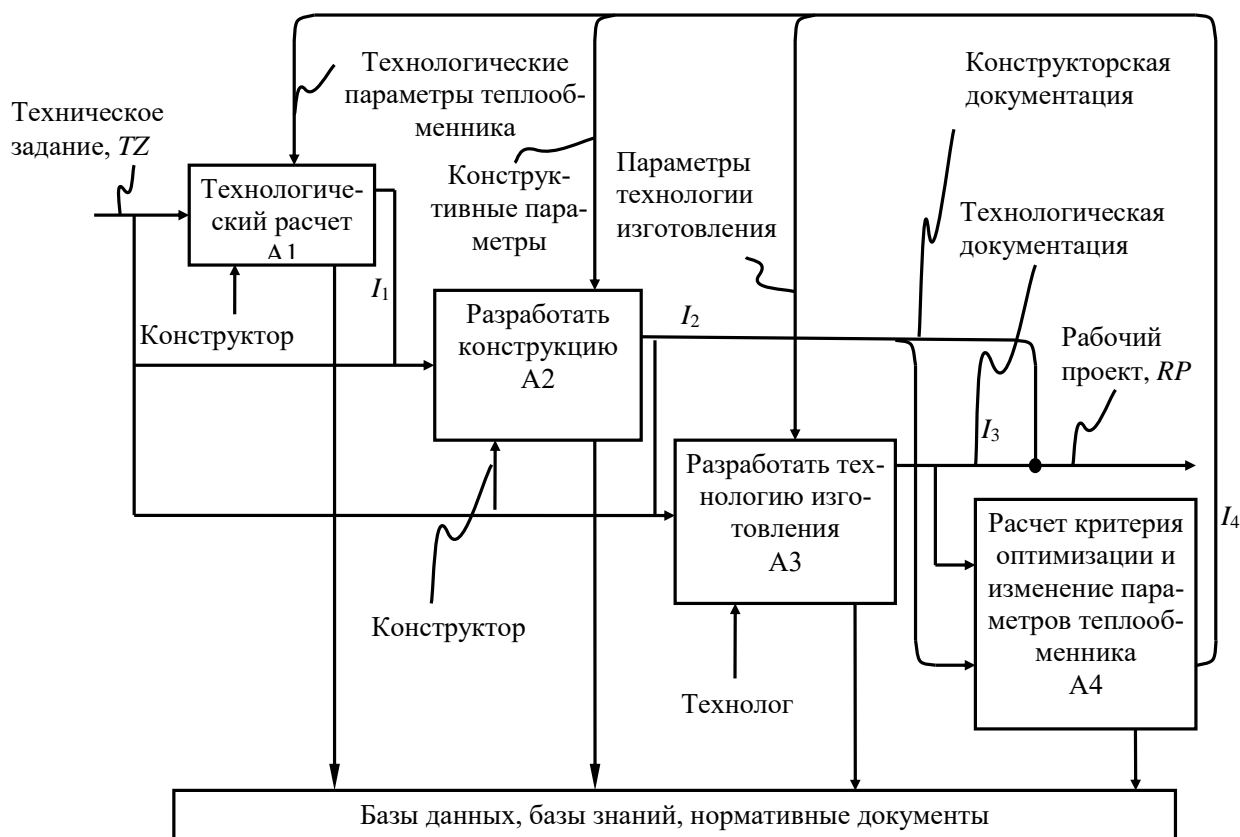


Рис. 1. Функциональная модель проектирования КТ

Описанная функциональная модель используется при разработке САПР химического оборудования [1 – 4].

Список использованных источников

1. Немтинов, В. А. Информационная модель объекта сложной технической системы / В. А. Немтинов, В. Г. Мокрозуб, Ю. В. Немтинова, Е. С. Егоров // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 41 – 43.
2. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373.
3. Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели / С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, И. В. Милованов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3 – 11.
4. Мокрозуб, В. Г. Процедурные и информационно-логические модели планирования выпуска продукции и ремонтов технологического оборудования многоассортиментных производств / В. Г. Мокрозуб, С. Я. Егоров, В. А. Немтинов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 2. – С. 72 – 76.

Е. В. Уварова, С. А. Рачкова, Ф. И. Вшивков

(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: mokrozubv@yandex.ru)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВИДОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. Представлен информационный ресурс в сети Интернет типов сварных соединений, обозначений сварных швов и способов сварки, номинальных размеров и их предельных отклонений.

Ключевые слова: сварка, информационный ресурс, Интернет.

E. V. Uvarova, S. A. Rachkova, F. I. Vshivkov

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

INFORMATION SYSTEM FOR TYPES OF WELDED JOINTS

Abstract. An information resource on the Internet of types of welded joints, designations of welds and welding methods, nominal sizes and their maximum deviations is presented.

Keywords: welding, information resource, Internet.

В Тамбовском государственном техническом университете разрабатывается виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [1 – 3]. Элементом кабинета является информационный ресурс, описывающий типы сварных соединений, обозначение сварных соединений, обозначение способа сварки, номинальные размеры и их предельные отклонения в зависимости от толщины свариваемых элементов.

Первичное меню ресурса представлено на рис. 1. На рисунках 2 и 3 представлены примеры информационных элементов.



- 1.Стыковое листовый стали.
2. Стыковое, двухслойной листовый стали.
3. Стыковое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой.
- 4.Угловое листовый стали.
5. Угловое листовый, двухслойной стали.
6. Угловое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой.
- 7.Тавровое листовый стали.
8. Тавровое листовый, двухслойной стали.
9. Тавровое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой.
- 10.Нахлесточное листовый стали.
- 11.Стыковое труб.
- 12.Нахлесточное труб.
13. Нахлесточное труб муфтой.
- 14.Угловое труб с фланцами.
- 15.Угловое ответвительного штуцера с трубой.
- 16.Стыковое секторов колец (отверотов).

Рис. 1. Первичное меню информационного ресурса

Содержание



Название	Рисунок	сварного соединения	способа сварки	основные размеры сварного соединения, номер таблицы
Односторонние без скоса кромок		C2	<i>P;III;VII</i>	ГОСТ 5264-80, табл.5
		C5	<i>AФ;MФ</i>	ГОСТ 8713-70, табл.3
Односторонние без скоса кромок со		C3	<i>P</i>	ГОСТ 5264-80, табл.6

Рис. 2. Стыковая сварка листовой стали

Содержание

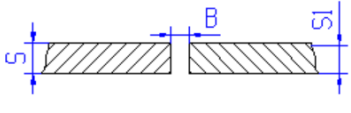
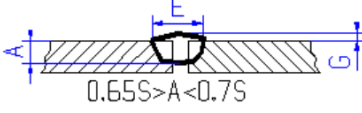
Конструктивные элементы		Способ сварки	S=S1	B			G
подготовленных кромок	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	E	Номин.
		Аф МФ	2	0	+0,3	8,5	1,5
			Св.2до3		+0,5	10	
			Св.3до4		+0,8	12	2,0
			Св.4до5		+1,0	14	
			Св.5до6			16	
			Св.6до8			19	
			Св.8до10			21	
			Св.10до12				

Рис. 3. Предельные отклонения размеров

Авторы готовы передать материалы всем заинтересованным по принципу «как есть» при условии получения акта внедрения или использования.

Список использованных источников

- Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели / С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, И. В. Милованов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3 – 11.
- Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете / В. Мокрозуб // САПР и графика. – 2015. – № 1(219). – С. 38–39.
- Мокрозуб, В. Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В. Г. Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34 – 40.

И. Г. Жирякова, М. С. Калистратов, Ф. И. Вшивков
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: mokrozubv@yandex.ru)

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫПУСКА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Представлена функциональная модель процесса планирования многоассортиментных производств, отличающаяся наличием блока расчета загрузки оборудования.

Ключевые слова: планирование, выпуск, функциональная диаграмма.

I. G. Zhiryakova, M. S. Kalistratov, F. I. Vshivkov
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

FUNCTIONAL DIAGRAM OF THE FINISHED PRODUCT PLANNING PROCESS

Abstract. A functional model of the multiassortment production planning process is presented, which differs in the presence of a block for calculating equipment loading.

Keywords: planning, release, functional diagram.

Функциональная модель процесса планирования готовой продукции (рис. 1) состоит из следующих четырех блоков: составление предварительного плана продаж, формирование плана производства, расчет загрузки оборудования, планирование потребности в сырье.

Блоки функциональной модели непосредственно связаны с базами данных таблиц общего пользования, склада готовой продукции, склада сырья, плана продаж и выпуска готовой продукции, технологии изготовления, базой оборудования и нормативной калькуляции. Кроме того, для внесения ограничений, уточнений и изменений предусмотрены корректирующие обратные связи между блоками.

Блок составления предварительного плана продаж позволяет сформировать предварительный план продаж готовой продукции на планируемый период, основываясь на информации о заключенных договорах и заявках на поставку продукции и др.

В блоке формирования плана производства происходит расчет ожидаемого остатка готовой продукции на начало планируемого месяца, а также составление и уточнение плана выпуска по каждой единице готовой продукции.

Блок расчета загрузки оборудования включает в себя нахождение максимально возможного объема выпуска готовой продукции при выполнении ограничений, связанных с имеющимся фондом времени работы оборудования.

В блоке планирования потребности в сырье рассчитывается потребность предприятия в сырье в натуральном и стоимостном выражении. Выходная информация: заявки на закупку сырья и окончательный план выпуска продукции.

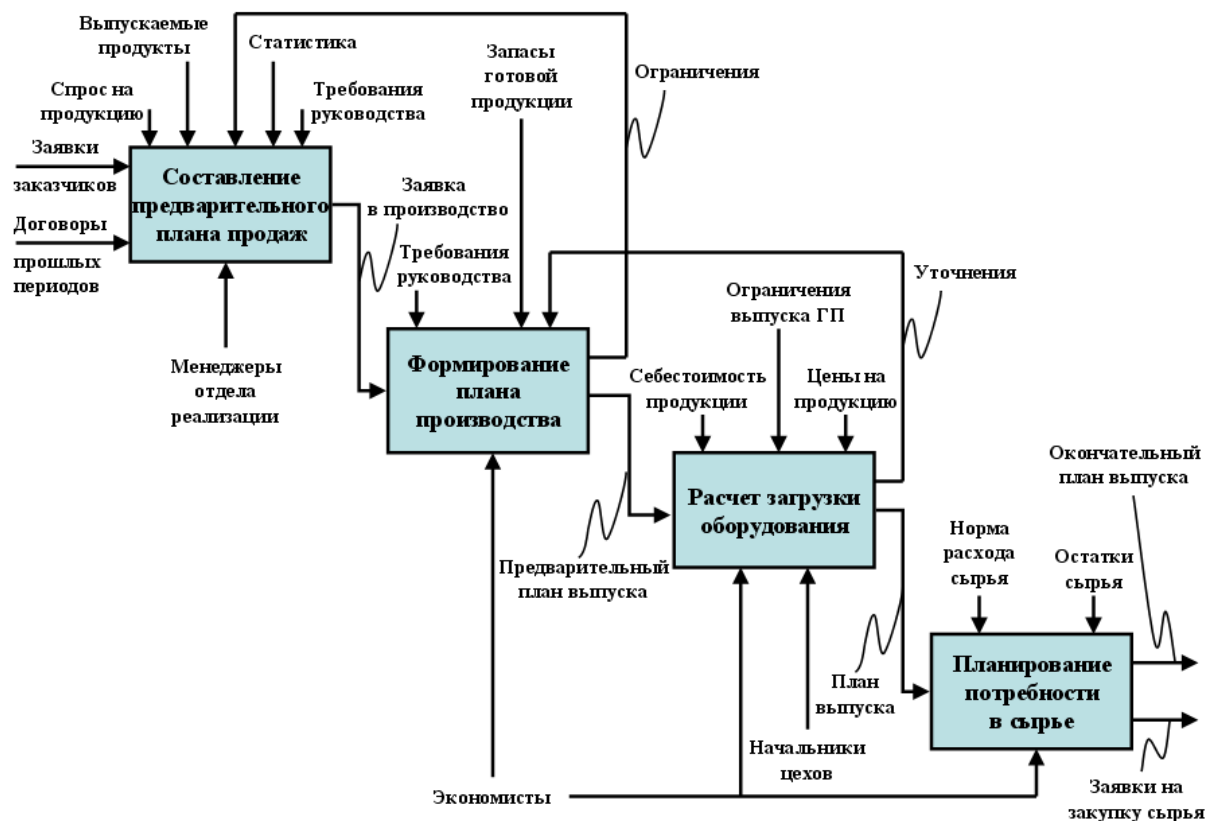


Рис. 1. Функциональная модель процесса планирования выпуска готовой продукции

Представленная функциональная модель использована авторами для разработки системы автоматизированного проектирования и управления многоассортиментными химическими производствами [1 – 4].

Список использованных источников

1. Автоматизированное составление графиков ремонтов химического оборудования / В. Г. Мокрозуб и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 593 – 597.
2. Мокрозуб, В. Г. Процедурные и информационно-логические модели планирования выпуска продукции и ремонтов технологического оборудования многоассортиментных производств / В. Г. Мокрозуб, С. Я. Егоров, В. А. Немтинов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 2. – С. 72 – 76.
3. Немтинов, В. А. Информационная модель объекта сложной технической системы / В. А. Немтинов., В. Г. Мокрозуб, Ю. В. Немтинова, Е. С. Егоров // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 41 – 43.
4. Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели / С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, И. В. Милованов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3 – 11.

ИНЖЕНЕРНАЯ ПЕДАГОГИКА В ПОДГОТОВКЕ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

*Секция проводится в рамках Международной сетевой
научно-практической конференции
«Инженерное образование в контексте будущих
промышленных революций – Синергия-2020»
при поддержке ПАО «Газпром»*

УДК 378:013:005.963.1

А. Н. Соловьев, В. М. Приходько, Л. Г. Петрова, Е. И. Макаренко
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, Россия,
e-mail: soloviev@pre-admission.madi.ru)

ПОДГОТОВКА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН К ПОЛУЧЕНИЮ ЗВАНИЯ «МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНЖЕНЕР-ПЕДАГОГ» (ING-PAED IGIP) НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Аннотация. В статье описывается эволюция учебного плана Международного общества по инженерной педагогике (IGIP) для повышения квалификации преподавателей инженерных дисциплин в соответствии с необходимостью учета изменяющихся условий учебной деятельности, появлением новых технических средств. Обсуждаются мнения, высказанные членами IGIP в процессе обсуждения модификации учебного плана.

Ключевые слова: учебный план, IGIP, преподаватели инженерных дисциплин.

A. N. Solovyev, V. M. Prikhod'ko, L. G. Petrova, E. I. Makarenko
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia)

TRAINING OF TEACHERS OF TECHNICAL DISCIPLINES FOR RECEIVING THE DEGREE “INTERNATIONAL ENGINEERING EDUCATOR” (ING-PAED IGIP) AT THE PRESENT STAGE

Abstract. The article describes the evolution of the curriculum of the International society for engineering pedagogy (IGIP) for improving the skills of teachers of engineering disciplines in accordance with the changing conditions of educational activities, the emergence of new technical means. The views expressed by IGIP members in the course of discussing curriculum modification discussed.

Keywords: curriculum, IGIP, teachers of engineering disciplines.

Введение. Международное общество по инженерной педагогике (IGIP) было организовано в 1972 году в Австрии по инициативе профессора Клагенфуртского университета Адольфа Мелецинека. Российский мониторинговый комитет (РМК) как отделение Международного общества по инженерной педагогике был создан 1995 году [1]. Последняя по времени, 49-я конференция IGIP, проходила в Таллине с 23 по 25 сентября 2020 года в дистанционном формате. Участники конференции убедились в том, что во всех странах при подготовке преподавателей инженерных вузов встречаются однотипные проблемы и трудности [2, 3]. К ним обычно относили отсутствие у преподавателей инженерных дисциплин профессионального педагогического образования и, соответственно, недостаток психолого-педагогических компетенций [4]. IGIP была разработана система формирования таких компетенций и признания статуса преподавателя инженерного вуза.

Данная работа посвящена анализу уже произошедших в работе IGIP трансформаций, изучению известных предложений по реформированию учебного плана и внесению своих предложений.

Развитие направлений деятельности IGIP. Наиболее очевидным изменением характера деятельности IGIP стала «смена вывески» – проведение в XXI веке конференций под общим названием ICL-IGIP. Так, 49-я конференция IGIP одновременно являлась 23-й конференцией ICL: Interactive Collaborative Learning. Наиболее важные изменения в характере деятельности IGIP должны быть связаны с использованием Information and Communication Technologies (ИКТ), а также e-learning – электронного обучения. Работа в условиях борьбы с распространением коронавирусной инфекции не только вывела на первый план работу с использованием ИКТ, но и потребовала активного обсуждения достоинств и недостатков различных платформ дистанционного обучения, эффективности методов их использования, возможностей для оценки учебных достижений и эволюции учебных достижений при переходе на дистанционное обучение.

Основные трудности, возникающие при всеобщем переходе на дистанционное обучение, заключаются в следующем: постоянная связь с учащимися, их родителями, необходимость подготовки новых учебных материалов значительно повысили нагрузку на преподавателей. Кроме того, обучающиеся практически лишены возможностей индивидуальных консультаций, а для творческих специальностей дистанционный формат практически неэффективен. Многие преподаватели не владеют какими-либо платформами дистанционного обучения и ограничиваются проведением контроля учебного процесса через электронную почту или мессенджеры. Многие студенты и преподаватели не имеют необходимого оборудования дома для дистанционного обучения. Отсутствие регулярного привычного контроля за обучающимися приводит к снижению качества образования. Для преодоления возникших трудностей необходимо обучать преподавателей современным компьютерным технологиям, распространять международный опыт использования популярных открытых образовательных ресурсов, обучать основам кибербезопасности, разрабатывать методики командной работы и оценки учебных достижений на удаленном доступе.

Эволюция учебного плана (CURRICULUM) IGIP. В 2005 году был утвержден инженерно-педагогический учебный план [5], разработанный по модульному принципу на основе европейской системы кредитно-зачетных единиц ECTS. В 2012 году Исполнительный комитет (ЕС IGIP) принял решение о модернизации этого плана, и в марте 2013 года модернизированный план был утвержден в целом. В качестве приложения к этому плану были даны развернутые формулировки компетенций.

Учебные планы 2005 и 2013 года несильно отличаются друг от друга, и это можно приветствовать ввиду традиционной инертности системы образования вообще и ЦИП, в частности. Вместе с тем обращаем внимание на более четкие формулировки компетенций, данные в приложении к плану 2013 г., адекватность названий модулей в указанном плане этим формулировкам и выделение в отдельную строку компьютерной грамотности.

С течением времени все большее количество стран вовлекалось в орбиту IGIP. Достаточно назвать Индию, страны Южной Америки, Африки и т.д. Очевидно, что системы образования разных стран обладают своей спецификой, и национальные отделения IGIP вносят свои предложения по изменению учебного плана. Одним из примеров корректировки учебного плана является предложения, внесенные У. Цукерманом от имени ЦИП, находящегося в Пуэрто-Рико в 2016 году. В нем выделяется 5 кредитных единиц на выполнение итогового проекта, а также обосновывается необходимость изучения современной теории Больших данных (Big Data).

В процессе обсуждения нового Прототипа учебного плана в марте 2020 года аргентинским отделением IGIP были внесены некоторые предложения. Во-первых, число зачетных единиц увеличено с 20 до 25, что, по нашему мнению, не совсем оправдано. Во-вторых, введено понятие финального проекта, ранее не фигурировавшее в учебном плане. В-третьих, до двух ЗЕ увеличено изучение ИКТ, что можно оценить положительно. В-четвертых, для каждого модуля авторы указали трудоемкость не только в зачетных единицах, но и в часах. Наряду с этим, в плане появился пункт «Нейролингвистическое программирование» (НЛП), на который отводится 2 ЗЕ. Многие исследователи отрицают научность методик НЛП, считая, что они не подтверждены экспериментально. Тем не менее, на конференциях обсуждалась возможность использования НЛП при геймификации обучения.

При обсуждении этого проекта в Международном мониторинговом комитете IGIP мнения разделились: от категорического неприятия («план должен быть единым для всех стран»), до допустимости внесения в него поправок с учетом особенностей национальных систем образования.

Выступление Президента IGIP Ханно Хортша (Hanno Hortsch) на 49-й конференции IGIP показало, что либеральная точка зрения возымела верх. Он подчеркнул, что Прототип учебной программы 2020 года должен быть открыт для корректировки в конкретной стране. При этом, в каждой стране должна быть установлена четкая взаимосвязь между контактными часами обучения и часами самостоятельной работы участников, и предусмотрена максимальная возможность использования ИКТ. Перечислены потенциальные

целевые группы для инженерного педагога IGIP: инженерные преподаватели – сотрудники высших учебных заведений, будущие специалисты в области инженерного образования – кандидаты наук, студенты высших учебных заведений, обучающиеся по профилям инженерных и естественных наук, деканы и другие руководители факультетов, школ или кафедр, менеджмент высших учебных заведений, преподаватели профессионально-технического образования в профессиональных колледжах.

Хортш Х. дал характеристику новому Прототипу учебной программы. Она состоит из модулей, которые, в свою очередь разбиты на блоки (учебные единицы); модули и блоки не предусматривают изучение одной дисциплины. Они имеют обобщенный характер и призваны охватывать «близлежащие» области знаний. Межпредметность модулей и блоков может быть представлена перекрестными ссылками. В представленном учебном плане отсутствует прежнее деление на практику и теорию. Он предполагает, что целью изучения каждого модуля или единицы является получение определенной в документе квалификации, что, в свою очередь, может быть достигнуто только через связь между практическим и теоретическим действием. Методологическая концепция реализации учебного плана должна быть связана с формированием навыков построения, трансформации и передачи знаний. Методология или методы, а также средства коммуникации (компьютерные платформы) не должны быть включены в Прототип. Оценка выполнения модулей или единиц должна определяться в зависимости от специфических условий страны. Для реализации учебного плана обязателен инженерно-дидактический подход, но не предусматривается указание каких-либо методических положений. Остается обязательным в новом прототипе учебного плана минимальное количество зачетных единиц – 20.

К положительным сторонам предложенного Х. Хортшем Прототипа учебного плана мы относим: 1) четкое описание учебных достижений обучающегося после изучения каждого модуля (план носит компетентностно-ориентированный характер); 2) указание трудозатрат в часах будет удобным ориентиром для разработчиков календарного плана в конкретном Центре инженерной педагогики; 3) в плане подчеркнута необходимость связи с предприятиями регионального рынка труда; 4) в модуль М2 включен Блок 2: «Средства информации в инженерном образовании», необходимость изучения которого мы подчеркивали выше; 5) в модуль М7 включен блок «Цифровизация образования», цели которого весьма логично сформулированы; 6) сохранена преемственность с предыдущими учебными планами; 7) открытость этого плана для корректировок внутри каждой страны.

Заключение. Многолетний опыт работы Российского мониторингового комитета IGIP показывает, что Исполнительный комитет IGIP своевременно выработал взвешенный подход к изменению Curriculum IGIP – учебного плана, на основании которого будет продолжаться деятельность национальных отделений IGIP. Вместе с тем условия присуждения этого звания остались неизменными. Обсуждение этого Прототипа на 49-й конференции IGIP было плодотворным и сочеталось с обсуждением текущих особенностей работы образовательных систем разных стран. Большинство Центров инженерной

педагогики работают на условиях самокупаемости, поэтому расширение базы обучающихся должно позволить им активизировать свою деятельность. Внимание, которое уделено в Прототипе использованию средств коммуникации, согласуется с Программой цифровизации экономики нашей страны.

Список использованных источников

1. О деятельности Российского Мониторингового Комитета IGIP / В. М. Приходько, Л. Г. Петрова, А. Н. Соловьев, Е. И. Макаренко // Высшее образование в России. – 2011. – № 12. – С. 39 – 47.
2. Manuel Castro, Elio Sancristobal, From Technology Enhanced Learning to Ethics and Critical Thinking as part of the Engineering Education: Skill Driven with Humanities Comprehension Editorial // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – V. 10, Is. 1. – 2020.
3. Thrasyvoulos Tsiatsos. Virtual University and Gamification to Support Engineering Education // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – URL : <https://online-journals.org/index.php/ijep/article/view/13771/6619>
4. Prikhodko, V. M. Technical Teacher Training and Certification According to the IGIP System. International Forum / V. M. Prikhodko, A. N. Solovyev // ASEE 2015 Pre-conference 14 June 2015. – Seattle, USA.
5. Приходько, В. Подготовка преподавателей технических дисциплин в соответствии с международными требованиями / В. Приходько, А. Соловьев // Высшее образование в России. – 2008. – № 10. – С. 43 – 49.

Р. Дреер¹, В. В. Кондратьев², У. А. Казакова², М. Н. Кузнецова²

(¹ Университет Зигена, Зиген, Германия, e-mail: dreher.tvd@uni-siegen.de;

² Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия, e-mail: vvkondr@mail.ru)

КОНЦЕПЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

R. Dreher¹, V. V. Kondratyev², U. A. Kazakova², M. N. Kuznetsova²

(¹ University of Siegen, Germany, Siegen;

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia)

CONCEPT OF ENGINEERING EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOCIETY

Аннотация. Для подготовки инженера нового типа, отвечающего современным условиям устойчивого развития, необходима новая модель инженерной подготовки. Инновационная инженерная деятельность означает создание технических объектов для мира без голода и эпидемий, с открытым доступом к пресной воде и информации, к образованию для всех и к равенству и устойчивому развитию. Она должна базироваться на двух руководящих принципах: компетентности в реализации решения и ответственности, чтобы быть в курсе последствий этого решения для самой проблемы, а также для социальной, экологической и экономической среды.

Ключевые слова: устойчивое развитие общества, индустрия-4.0, инженерная деятельность, клятва Леонардо, концепция естественной структуры инженерной подготовки.

Abstract. A new model of engineering training is required to train a new type of engineer that meets modern conditions of sustainable development. Innovative engineering represents the creation of technical facilities for the world without hunger and epidemics, with free access to fresh water and information, education for everyone, equality and sustainable development. It has to be based on two guiding principles: competence in implementation of the solution and responsibility, awareness of the consequences of this problem`s solution, as well as for the social-economic and ecological environment.

Keywords: sustainable Development of Society, Industry – 4.0, Engineering, Leonardo Oath, Concept of the Natural Structure of Engineering Training.

Введение. Новый технологический уклад основан на компетенциях человека, имеющего определенные навыки, знания и способного переходить из своей области деятельности в новую область, не обеспеченную знаниями, причем делать это быстро и экономически выгодно. Это, по сути, новое поколение компетенций. В качестве основной цели инженерного образования ставится требование, чтобы инженеры выполняли свою работу, основываясь на категориях «устойчивость», «профессиональное развитие»

и «экологичность». Современный уровень развития информационно-коммуникационных и цифровых технологий позволяет реализовать концепцию естественной структуры инженерной подготовки как основу развития инженерного образования [1].

Необходимость модернизации инженерного образования. Быстрое и интенсивное развитие информационно-коммуникационных, цифровых, наукоемких компьютерных и нанотехнологий; мегапроблемы и размывание границ исследований, их междисциплинарность приводят к необходимости подготовки высококвалифицированных инженерных кадров. Для постиндустриального общества и цифровой экономики необходимы специалисты, которые способны на высоком профессиональном уровне справляться с современными и инновационными технологиями в новых и нестандартных условиях и вынужденные автономно идентифицировать сложившуюся ситуацию и ответственно подходить к принятию решений. Альтернативы развитию высоких технологий, междисциплинарных научных исследований, созданию технических университетов мирового уровня, повышению значимости инженерных профессий нет. Необходимыми условиями для их реализации являются поддержка инженерного образования, распределение молодых исследователей в промышленность и вузы, создание для этого соответствующих стимулов.

По мнению работодателей и кадровых агентств, молодые специалисты сегодня не обладают в достаточной мере профессиональными умениями и навыками, владеют методами творческого решения инженерных задач, слабо мотивированы, не нацелены на профессиональное развитие и карьерный рост, не умеют работать в команде. Существующая система инженерного образования, к сожалению, по-прежнему носит общий, массовый характер, в то время как необходима адресная целевая подготовка, адекватная требованиям будущих работодателей. Вузы требуют от выпускников знаний по изучаемым в образовательном процессе дисциплинам.

Таким образом, имеет место противоречие между качеством подготовки инженеров и требованиями работодателей.

Современные технологические инновации в цифровой экономике детерминируют иные приоритеты для инженерной деятельности. Междисциплинарность проводимых исследований и технологий индустрии 4.0 определяют потребность в новых парадигмах инженерной деятельности. Все это меняет роль инженера в промышленности и обществе, он обязан обладать гораздо более широким спектром ключевых компетенций, что изменяет характер инженерного образования в соответствии с технологическими потребностями глобальной цифровой экономики [2, 3].

Требования к современному инженеру и пути перехода к инновационному инженерному образованию. Переход к инженерному образованию нового инновационного формата обуславливает необходимость в обновлении как его методологических основ, так и непосредственно содержания, исходя из комплекса подходов наукоемкого инжиниринга и современной цифровой экономики. Дальнейшему развитию инженерного образования нового типа призваны содействовать апплицирование в данном процессе наиболее прогрессивных и прошедших верификацию аналогов учебных программ и

практического педагогического опыта отечественных и зарубежных коллег; интеграция достижений научных достижений и производственных отраслей.

Современный инженер должен владеть полным инструментарием по принятию рациональных решений инновационного характера; высоким уровнем академической, практической и специализированной профессиональной подготовленности; современными компьютерными технологиями и способами получения необходимой информации; системным инжинирингом; методами актуализации своего интеллектуально-творческого потенциала. В этой связи особую актуальность приобретают практико-ориентированные проектно-содержащие образовательные программы, направленные на профессиональную подготовку специалистов, готовых к стабильному, конкурентоспособному развитию в новых социально-экономических условиях и модернизации стандартных высших учебных заведений в инновационные центры по устойчивому научному и производственному развитию [1, 4].

Новый технологический уклад детерминирует появление новых востребованных научных и технологических отраслей, что приводит к преумножению специализаций и специальностей технического профиля. Цифровой формат экономики усиливает конкурентные требования к современному инженеру, качеству результатов его деятельности и интенсивность смены поколений технологического процесса. С целью достижения оптимальными способами высоких результатов современные производственники, помимо высокого уровня профессиональной подготовленности и инновационных форм мышления, должны обладать сформированной внутренней интенцией к непрерывному саморазвитию и самореализации в деятельности.

Изменения в характере инженерной деятельности требуют адекватного отражения в инженерной подготовке (ИП) для промышленности [5].

Клятва Леонардо для инженеров как ориентир для их подготовки. Рассматривая цели тысячелетия ЮНЕСКО, идея создания (по аналогии с «Клятвой Гиппократа» в медицине) «Клятвы Леонардо для инженеров» в качестве основной цели инженерного образования ставит требование, чтобы инженеры выполняли свою работу, основываясь на категориях «устойчивость», «профессиональное развитие» и «экологичность». «Клятва Леонардо» была разработана как ориентир для инженерных образовательных программ, понимая, что инженерная деятельность – это не просто процесс передачи технологий в продукты и решения, а проектирование и влияние на жизнь на Земле [1, 6].

Основной тезис этого документа утверждает, что инновационная инженерная деятельность означает создание технических объектов для мира без голода и эпидемий, с открытым доступом к пресной воде и информации, к образованию для всех и к равенству и устойчивому развитию, поэтому она должна базироваться на следующих двух руководящих принципах:

- компетентности в реализации решения;
- ответственности за последствия этого решения для самой проблемы, а также для социальной, экологической и экономической среды.

Это означает, что основная задача инженерной деятельности должна быть реализована как дуалистическая функция. Ее этический компонент ориентирован на будущее, касающееся ситуации в мире [7, 8].

Каждый инженерный курс должен быть основан на идее, согласно которой инженеры будут подготовлены к использованию полученных технических знаний с их ответственностью за проектирование, ориентированной на принципы этического обоснования, устойчивости и социальной оценки.

Типичная структура такого курса показывает [1, 9], что академические курсы в случае развития компетентности проектирования должны следовать принципу выполненного действия с шагами «сообщаю – планирую (решаю) – делаю – контролирую – анализирую», что коррелирует с концепцией CDIO Массачусетского технологического института.

Основополагающие положения построения естественной структуры инженерной подготовки (ЕСИП) и ее основные инновационные составляющие. В сущности естественного когнитивно-ориентированного учебного процесса заложена совокупность образов («гештальтов») о том, каким должен быть конечный результат, как необходимо проектировать и оптимизировать процесс по его достижению, каковы модели объекта или реализуемого процесса, в чем заключается преемственность этапов его функционирования и т.д. Этапы ЕСИП условно следует разделить на циклы, согласующиеся с видами технической деятельности, обусловленные содержанием и направленностью объекта или процесса, посредством их подробного описания. Технический объект или процесс выступает в единстве показательного уровня интеллектуально-творческого, технологического потенциала с актуальными социальными нормами и ценностями.

В основе построения ЕСИП лежат следующие положения [1]:

1. Логика человеческой деятельности может быть представлена обобщенной структурой, инвариантной к этой деятельности, в том числе в технике. Любая деятельность обязательно проектируется, поэтому структуры ее этапов и проектирования совпадают, добавляется лишь этап реализации.

2. Образовательный процесс представляет собой деятельность по развитию исходного уровня компетенций обучающегося до необходимого и достаточного для реализации определенного вида деятельности в технике уровня.

3. Структура образовательного процесса как деятельности и обобщенная структура деятельности совпадают.

Осуществить ИП в формате современных информационно-коммуникационных и цифровых технологий позволяют следующие инновационные составляющие концепции ЕСИП:

- системообразующая идея;
- единство структурных элементов, поэтапности и логики когнитивно-преобразующей деятельности субъекта;
- согласованность индивидуальных процессов восприятия личности и феноменов познания окружающего мира;

- прослеживаемый фрагментарный характер ЕСИП, подразумевающий специфику решения образовательных проблем и учебных задач, идентичных жизнедеятельности обучающегося;
- алгоритмизация в основе сущности информатизированного образовательного процесса;
- поливариантность элементов учебно-воспитательного процесса, направленного на тот или иной вид специализированной профессиональной подготовки.

Заключение. Система российского инженерного образования традиционно сильна в подготовке креативных специалистов, поскольку их мышление базируется на системном образовательном принципе «от общего к частному».

Предлагаемая концепция инженерного образования на основе ЕСИП и кодекса профессионального инженера «Клятва Леонардо для инженеров» будут способствовать формированию инженера нового типа, компетентного в реализации принятого решения и ответственного за последствия этого решения для социальной, экологической и экономической среды.

Список использованных источников

1. Dreher, R. New Aspects of Engineering Education for the Sustainable Development of Society / R. Dreher, A. O. Gornov, V. V. Kondratyev // Высшее образование в России. – 2019. – № 1(231). – С. 76 – 85.
2. Юшко, С. В. Интегрированная подготовка будущих инженеров к инновационной деятельности для постиндустриальной экономики / С. В. Юшко, М. Ф. Галиханов, В. В. Кондратьев // Высшее образование в России. – 2019. – № 1(231). – С. 65 – 75.
3. Инженерное образование: трансформации для индустрии 4.0 / В. В. Кондратьев, М. Ф. Галиханов, П. Н. Осипов и др. // Высшее образование в России. – 2019. – Т. 28, № 12(242). – С. 105 – 122.
4. Kondratyev, V. V. Training Engineering Students for Interdisciplinary Teamwork / V. V. Kondratyev // Engineering Education: Journal of the Association for Engineering Education of Russia. – 2016. – Is. 20. – P. 96 – 100.
5. Дьяконов, Г. С. Проблемы инженерного образования и подготовка инженерных кадров в области химических технологий / Г. С. Дьяконов, В. Г. Иванов, В. В. Кондратьев // Высшее образование в России. – 2013. – № 2. – С. 33 – 38.
6. Dreher, R. Engineering Education in the 21st Century / R. Dreher, G. Kammasch // Proceedings of 2014 International Conference on Collaborative Learning (ICL), 2014. – P. 432 – 435.
7. Кодекс профессиональной этики инженера (на основе FEANI position paper on Code of Conduct: Ethics and Conduct of Professional Engineers, approved by the FEANI GENERAL Assembly on 29 September 2006 (URL : <http://www.feani.org/site/index.php?id=261>)).
8. Code of Ethics for Engineers (www.nspe.org Publication date as revised: July 2007, Publication #1102).
9. Dreher, R. Von PBL zu PBE: Notwendigkeit der Weiterentwicklung des didaktischen Konzepts des problembasierten Lernens / R. Dreher // in: H. Hortsch, S. Kersten and M. Köhler (ed.), «Renaissance der Ingenieurpädagogik. Entwicklungslinien im Europäischen Raum», Dresden, 2012. – P. 68 – 75.

**М. Ф. Галиханов, Л. В. Овсиенко, Д. И. Куликова,
И. В. Зимина, А. А. Гужова**

(Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань. Россия, e-mail: mgalikhanov@yandex.ru)

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РОСТ ПЕДАГОГОВ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО
И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УНИВЕРСИТЕТСКОМ
КОМПЛЕКСЕ: КОНВЕРГЕНТНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА**

Аннотация. Предлагается модель обучения педагогов, которая выстраивает открытую современную систему переподготовки педагогических кадров системы общего и профессионального образования через конвергентный подход. Это означает разработку системы тестирования входных данных для преподавателей для оценки недостаточных компетенций и педагогических недостатков в целях разработки индивидуальной образовательной траектории для каждого учащегося в зависимости от требований.

Ключевые слова: конвергентная образовательная среда, непрерывное образование, педагог.

**M. F. Galikhanov, L. V. Ovsienko, D. I. Kulikova,
I. V. Zimina, A. A. Guzhova**

(Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia)

**PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS OF GENERAL
AND PROFESSIONAL EDUCATION IN THE UNIVERSITY
COMPLEX: CONVERGED EDUCATIONAL ENVIRONMENT**

Abstract. A model of teaching teachers is proposed, which builds an open modern system of re-training of teaching staff of the system of general and vocational education through a convergent approach. Convergent approach means development of input sort testing system for educators to estimate lacking competencies and pedagogical deficiency in order to design individual educational path for every learner depending on the requirements. Testing system gives recommended models of individual educational programs.

Keywords: convergent Educational Environment, Continuing Education, Educator.

В условиях глобализации политика развития образования любой страны должна обеспечивать вклад в ускорение экономического роста, технологическую модернизацию и социальную устойчивость. Новые проекты развития образования должны также соответствовать глобальному тренду цифровизации, который нельзя остановить и опасно игнорировать.

Был проведен опрос преподавателей среднего профессионального образования научно-образовательного кластера ФГБОУ ВО «КНИТУ», в который входят 38 профессиональных образовательных организаций Российской Федерации. В опросе приняли участие 1612 преподавателей, реализующих программы среднего профессионального образования, средний возраст которых – 43,5 лет, в том числе из них 24,6% – мужчины, 75,4% – женщины. В рамках опроса мы попытались выявить так называемые педагогические дефициты, с тем, чтобы более точно выстроить систему повышения квалификаций. По мнению преподавателей, основные пробелы в знаниях находятся в зоне владения информационными технологиями, что суммарно составляет более 55% от предложенных вариантов. С другой стороны, именно дефицитами ИТ-компетенций, на наш взгляд, обусловлен факт наибольшей популярности в образовательном процессе таких информационных инструментов, как WhatsApp и ZOOM, которые являются и наиболее простыми в освоении.

Система дополнительного профессионального образования педагога является основой для определения будущих потребностей в новых компетенциях: определение тенденций изменений содержания образования, образовательных технологий, показателей качества образования и способов его оценки. Развитие профессионального мастерства педагога, компетентности, его индивидуального роста, результативности профессионального опыта должно быть открытой, подвижной, развивающейся системой.

Целевым назначением данной многогранной работы является создание и апробация новой партнерской модели сотрудничества со школами, непосредственное участие в обучении педагогов, что в конечном счете обеспечивает открытую современную систему переподготовки педагогических кадров системы общего и профессионального образования. При этом меняются роли педагога – он становится организатором учебной, проектной и исследовательской деятельности и образовательных практик, консультантом и наставником, исследователем, руководителем проектов, «навигатором» в образовательной и цифровой, среде. Учитель становится драйвером качественных преобразований в системе школьного и профессионального образования.

Эффективность работы педагога должна повыситься за счет использования новых технологий и проектируемых цифровых ресурсов, обеспечив возможность индивидуализации образовательных траекторий в интересах каждого ребенка, и, как следствие, повысить качество образования. Профессиональный рост педагогов системы общего и профессионального образования в университетском комплексе предполагает конвергентный подход – построение системы программного тестирования «на входе» педагогических работников для определения выпадающих компетенций и педагогических дефицитов с возможностью моделирования индивидуальных образовательных траекторий для каждого педагога в зависимости от его запросов. Система тестирования выдает педагогическим работникам рекомендуемые модели индивидуальных образовательных программ.

Педагогам предлагаются 7 программ повышения квалификации:

- 1) «Конвергентная образовательная среда: философия и дидактика».
- 2) «Основные технологии цифровой трансформации образовательного процесса».
- 3) «Педагогический дизайн и проектирование: принципы, задачи, модели».
- 4) «Педагогическая культура сопровождения одаренных и талантливых детей».
- 5) «Проектирование наставничества и добровольчества в молодежной среде».
- 6) «Новые методы обучения и воспитания у учащихся навыков XXI века».
- 7) «Новое технологическое образование в школе и СПО».

Таким образом, предлагается модель обучения педагогов, которая выстраивает открытую современную систему переподготовки педагогических кадров системы общего и профессионального образования. При реализации данной системы меняются роли педагога – он становится организатором учебной, проектной и исследовательской деятельности и образовательных практик, консультантом и наставником, исследователем, руководителем проектов, «навигатором» в образовательной и цифровой, среде.

Список использованных источников

1. Послание Президента Российской Федерации от 01.03.2018 г. б/н (О положении в стране и основных направлениях внутренней и внешней политики государства). – URL : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/42902>

2. Сергеев, И. С. Цифровая дидактика профессионального образования и обучения (ключевые тезисы) / И. С. Сергеев, Е. Ю. Есенина, В. И. Блинов // Среднее профессиональное образование. – 2019. – № 3. – С. 3 – 8.

С. В. Барабанова, Л. М. Богатова, Н. В. Крайсман, В. М. Токар
(Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия, e-mail: sveba@inbox.ru, e-mail: bolami@inbox.ru, e-mail:
n_kraysman@mail.ru, e-mail: ventok@mail.ru)

РАЗВИТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ НАВЫКОВ У СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕВОЛЮЦИЙ

Аннотация. В статье на основе теоретических подходов дается обоснование необходимости развития управленческих навыков у студентов-инженеров. Целью статьи является рассмотрение основных качеств характера, необходимых для успешного формирования управленческих навыков у студентов инженерных специальностей, влияние гендерного фактора и «эмоционального интеллекта» (EQ) на стиль руководства и раскрытие методов развития «hard» and «soft» skills.

Ключевые слова: менеджмент, инженер-менеджер, формирование управленческих навыков, тренинги, коучинг, эмоциональный интеллект (EQ), hard skills, soft skills, гендерная специфика стиля руководства.

S. V. Barabanova, L. M. Bogatova, N. V. Kraysman, V. M. Tokar
(Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia)

DEVELOPMENT OF MANAGERIAL SKILLS IN ENGINEERING UNIVERSITY STUDENTS IN THE CONTEXT OF MODERN INDUSTRIAL REVOLUTIONS

Abstract. The paper theoretically substantiates the need for managerial skills development in engineering students. The paper is focused on the basic traits necessary for the successful formation of managerial skills in engineering students, the impact of gender and “emotional quotient” (EQ) on leadership style, and the development of “hard” and “soft” skills.

Keywords: management, engineering manager, development of managerial skills, training, coaching, emotional quotient (EQ), hard skills, soft skills, gender specificity of leadership style.

Классики теории менеджмента Р. Ф. Друкер, М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури считают, что управление – это особый вид деятельности, состоящий из планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для того, чтобы превратить неорганизованную толпу в эффективную целенаправленную и производительную группу, а также сформулировать и достичь цели компании.

Управление, как специфическая функция, реализуется руководителями компании. Все руководители играют определенные роли и выполняют определенные функции.

Таким образом, управление – это функция, специфических органов компании, обеспечивающих направление деятельности всех без исключения ее структурных элементов – подразделений, удерживающих в допустимых пределах отклонение отдельных частей и компании в целом от поставленных целей. Те, кто занимается выполнением функций управления, входят в особую группу, называемую бюрократической администрацией.

Вебер М. в 1923 г. в своей работе «Экономика и общество: основы объясняющей социологии» описал «идеальный тип» менеджера, имеющего следующие характерные свойства:

- личности, входящие в органы управления, лично свободны и действуют только в рамках «безличных» обязанностей, существующих в данной компании;
- подразумевает наличие ярко выраженной иерархии должностей и позиций;
- имеется ярко выраженная спецификация функций каждой из управляющих должностей и позиций, при этом предполагается компетентность индивидов в каждой должности по узкому кругу проблем;
- индивиды нанимаются и продолжают работу на основе контракта;
- людям, занимающим должности, выплачивают зарплату, размер которой зависит от занимаемого ими уровня в иерархии компании;
- бюрократия представляет собой карьерную структуру, в которой продвижение проводится по заслугам или по старшинству, независимо от суждений начальника;
- должность, занимаемая индивидом в компании, рассматривается им как единственное или, по крайней мере, главное занятие;
- деятельность представителей бюрократии основывается на строго служебной дисциплине и подлежит контролю.

В настоящее время испытывает настоящий взрыв концепция «эмоционального интеллекта». После публикации в книге Дэниэла Гоулмана данных о том, что только 15% успеха руководителя объясняются его умственным развитием (IQ), а 85% приходится на долю эмоционального интеллекта (EQ), понятие «эмоционального интеллекта» стало набирать стремительную популярность.

Хотя сам термин «эмоциональный интеллект» и похож на оксюморон, определяется он достаточно просто: это способность понимать эмоции и управлять ими на основе интеллектуальных процессов, т.е. умение анализировать то, что происходит в эмоциональной сфере, и руководить им.

Дэниел Гоулман и Рувен Бар-Он изучают определенные компетенции, необходимые будущему руководителю, связанные с эмоциями, и личностные качества. А Джон Майер и Питер Саловой анализируют когнитивные способности человека применительно к эмоциям, умение понимать и определять, что выражает та или иная эмоция.

Мы придерживаемся концепции этих ученых и считаем, что эмоциональная компетентность будущего управленца предполагает владение четырьмя видами навыков:

1. Осознание своих эмоций.
2. Осознание эмоций других людей.
3. Управление своими эмоциями.
4. Управление эмоциями других людей.

Учитывая все современные тенденции, наблюдаемые в теоретических научных конструктах и в реальной бизнес практике, авторы считают, что современные менеджеры, помимо профессиональных инженерных компетенций, должны обладать также специальными управленческими навыками, обеспечивающими успешное функционирование

компании, достижение целей, высокую конкурентоспособность при производстве и эффективность в управлении персоналом. Управленческие навыки менеджеров формируются и развиваются при помощи специальных методик.

Не существует абсолютно плохих или хороших личностных качеств для менеджера, но их совокупность является ресурсом, поддающимся управлению. При этом на стиль и качество управления существенное влияние оказывает гендерный фактор. Мужчины и женщины действительно разные и отличаются по нейропсихологическим параметрам.

Современная социокультурная ситуация характеризуется кардинальными преобразованиями, идущими в сфере гендерных отношений. В настоящее время радикально меняются гендерные диспозиции не только в сфере семейных отношений, а по сути дела, во всех сферах общественной жизни – производственной, трудовой, в сфере образования, культуры, услуг и т.д. Глубочайшее преобразование гендерных полоролевых структур детерминировано широким спектром социальных причин, одной из которых являются масштабные процессы феминизации и эмансипации.

Положение женщины радикально изменилось в начале XX века – она уверенно в качестве полноправного субъекта вошла в производственную сферу, получила доступ к высшему образованию, добилась полноты всех прав, в том числе на занятия разнообразными видами профессиональной деятельности. Если сравнительно недавно такие профессии, как врач, педагог, управленец и многие другие были традиционно представлены доминированием мужчин, то в настоящее время представительство женщин по сути дела во всех видах трудовой деятельности резко изменилось. Существенным образом изменилась ситуация и в системе высшего технологического инженерного образования.

К примеру, на данный момент в контингенте обучающихся в технологических вузах Российской Федерации доля женщин составляет около 40%, а по некоторым инженерным специальностям в процентном отношении доля женщин превосходит студентов-мужчин. Сегодня женщины все чаще отдают предпочтение традиционно мужским профессиям, занимая в них порой лидирующие позиции. Это особенно ярко проявляется и в сфере управления.

Широко развернувшиеся процессы гендерного дрейфа в профессиональной сфере не могли не отразиться на деятельности системы высшего технологического образования, которая, наряду с формированием профессиональных компетенций, все большее внимание уделяет подготовке инженеров, обладающими навыками управленческой деятельности. В рамках профессиональной подготовки система высшего технологического инженерного образования не только с необходимостью должна учитывать специфику гендерных особенностей, но и активно применять новые методы и формы организации учебного процесса, направленные на развитие и максимальное практическое применение в будущей профессии, дающей широкие возможности для реализации своеобразия гендерных различий, заданных самой природой.

При этом доминирующими в практике управления становятся не профессиональные компетенции, процедуры, процессы – так называемые «hard» skills, а «soft» skills – все, что является производным от личностных навыков и привычек менеджера. По мнению

авторов, в современных условиях больший акцент в практике управления необходимо делать на внедрении инновационных принципов методов, связанных с формированием и развитием у студентов инженерных специальностей нейропластичности, Neuro Science, EQ и т.п. Таким образом, часть эмоционального интеллекта, отвечающую за понимание других, можно тренировать при помощи подобных простых и несложных упражнений. Авторы предлагают при подготовке будущих инженеров использовать эффективные способы: это тренинги по развитию эмоциональной компетентности, индивидуальные коуч-консультации и саморазвитие, т.е. самостоятельная работа по выработке навыков, запрос конструктивной обратной связи от окружающих.

Важно отметить, что наработка эмоциональной компетентности требует изменений на достаточного глубинном уровне, и соответственно, требует времени. Таким образом однодневные или двухдневные тренинги, посвященные формированию эмоционального интеллекта у студентов, позволяет развить некоторые отдельные навыки эмоционального интеллекта, но за это время невозможно наработать весь комплекс навыков, связанных с осознанием и управлением эмоциями. По мнению Рувена Бар-Она, программа развития EQ должна занимать не менее шести месяцев. Зато, как показывает практика работы со студентами инженерных специальностей, такие изменения более устойчивы по сравнению с обычными навыками и знаниями.

Использование данного тренинга позволит будущим инженерам-менеджерам наладить контакт не только с самим собой, но и успешно выстраивать коммуникации с остальными сотрудниками компании.

Список использованных источников

1. Pugacheva M. A., Kuzmina Z. V., Morozova I. G., Girfanova E. Yu., Toka, V. M. Corporate Structure as Economic System and Object of Analysis. Proceedings of the International conference "Economy in the modern world (ICEMW 2018), Advances in Economics, Business and Management Research. – V. 61. – 2018. – P. 398 – 404.
2. Strekalova G. R., Tokar V. M., Kadeeva Z. K. The quality of human resources and the small business of the Tartastan republic Interrelation and interdependans. Proceedings of the Volgograd State University International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Safe Development of the Regional Economy" (CSSDRE). – 2019.
3. Sultanova D. Sh., Maliashova A., Abzalilova L, Sultanova R. The main obstacles for development of international activity with Russian-European chemical clusters: environmental aspect. E3S Web of Conferences. 161. – 2020.
4. Barabanova S. V., Shagieva, R. V., Gorokhova, S. S. et al. Innovative Components in the Educational Strategy of Training the Modern Graduates. International Electronic Journal of Mathematics Education. – V. 11, № 9. – 2016. – P. 3329 – 3338.
5. Ivanov V. G., Miftakhova N. Kh, Barabanova S. V., Lefterova O. I. New Components of Educational Path for a Modern Engineer // Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning, ICL 2015. – P. 184 – 187.

6. Khatsrinova O. Y., Barabanova S. V., Khatsrinova J. A. The Main Trends in the Development of Engineering Education: the Role of the University Teacher in Systemic Changes. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – V. 916. – P. 495 – 502.
7. Tsareva E. E., Bogoudinova R. Z., Khafisova L. Yu., Fakhretdinova G. M. Multilingualism as a Means of Students' Technocommunicational Competence Forming at Engineering University. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – V. 1134. – P. 137 – 142.
8. Bogatova L. M. Gender Concept of Modern Education in Russia // *IEEE*, 25 – 27 September 2013, Kazan National Research Technological University. – 2013. – P. 492 – 494.
9. Valeyeva N. S., Kupriyanov R. V., Valeeva E. R., Kraysman N. V. Influence of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) on the System of the Engineering Education // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 1135 AISC. – 2020. – P. 316 – 325.
10. Barabanova S. V., Ziyatdinova J. N., Sokolova A. at al. The Decline of Women in Russian Engineering Education // *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings* Cep. “120th ASEE Annual Conference and Exposition”. – 2013. – P. 23.1179.1 – 23.1179.
11. Shageeva F. T., Erova D. R., Gorodetskaya I. M. at al. Training the achievement-oriented engineers for the global business environment // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 716. – 2018. – P. 343 – 348.
12. Kadeeva Z. K., Kaybiyaynen A. A., Lisina O. V., Turner E. Yu. Engineering Slam as a Project of Popularizing Sciences and Engineering Competencies. In: Auer M., Hortsch H., Sethakul P. (eds) *The Impact of the 4th Industrial Revolution on Engineering Education*. ICL 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Springer, Cham. – 2020. – V. 1134. P. 240 – 243.

Ф. Т. Шагеева, Н. В. Крайсман

(Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия, e-mail: faridash@bk.ru, n_kraysman@mail.ru)

РАЗВИТИЕ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ СПОСОБНОСТИ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЩЕНИЮ У БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ

Аннотация. В статье отмечается, что развитие способности к профессиональному общению будущего инженера является необходимым условием становления его как квалифицированного специалиста, а также значимым фактором в его дальнейшей профессиональной деятельности. Способность к профессиональному общению будущих инженеров целесообразно развивать на уровне вузовской подготовки. Предложено обоснование ее эффективного развития за счет создания комплекса соответствующих педагогических условий, учитывающих уникальные возможности исследовательского университета.

Ключевые слова: инженерная деятельность, профессиональное общение, исследовательский университет, будущие инженеры, педагогические условия развития.

F. T. Shageeva, N. V. Kraysman

(Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia)

DEVELOPMENT OF THE ABILITY FOR PROFESSIONAL INTERACTION IN FUTURE ENGINEERS AT RESEARCH UNIVERSITY

Abstract. The paper states that the development of the ability for professional communication in a future engineer is a prerequisite for him becoming a skilled specialist, as well as a significant factor in his future professional activity. The future engineers' professional communication ability should be developed at the university level. We proposed the rationale for its effective development through the creation of a set of relevant pedagogical conditions taking into account the unique capabilities of a research university.

Keywords: engineering, professional interaction, research university, future engineers, pedagogical conditions.

Введение. В процессе разрешения ранее выявленного нами противоречия, которое выражается в потребности подготовки инженерных кадров, владеющих эффективными коммуникативно-риторическими навыками и недостаточной направленностью системы высшего профессионального образования на развитие фактического мастерства общения и публичной речи, нами были определены педагогические условия развития коммуникативно-риторической компетенции студентов инженерного вуза в условиях исследовательского университета [1]. Анализ специальной литературы [2 – 5] показал, что в «XXI веке инженерно-технические обязанности инженера в условиях современной экономики должны быть неотделимы от организаторской и управленческой деятельности».

Рассмотрение инженерной деятельности в контексте ее коммуникативно-риторической составляющей выявило, что особенное значение для инженеров наравне с навыками общения имеют их навыки публичной речи. В инженерной деятельности присутствует ряд обязанностей, предполагающих выступление перед аудиторией. Это может быть защита проектов, выступление с докладами на научных конференциях, подготовка отчетов по проделанной работе, организационно-производственные речи. И особенная роль, несущая в себе социальную значимость, отводится пропагандистской функции профессии инженера. Наблюдается потребность в усилении гуманитарной составляющей подготовки студентов технических специальностей, и в особенности, в развитии речевых качеств будущих инженеров как значимых для эффективного решения их профессиональных задач.

Цель данной работы – экспериментально проверить в условиях технического вуза педагогические условия развития способности к профессиональному общению студентов. Авторы показывают на примере технологического исследовательского университета, как можно подготовить будущих инженеров к профессиональному общению, какие условия необходимо создать для решения данной задачи. Представлен проект учебного модуля, предложены методические рекомендации по его подготовке и внедрению в образовательный процесс.

Подходы и педагогические условия. Для решения задачи эффективного формирования и развития способности к профессиональному общению у будущих инженеров было проведено «специальное исследование, позволившее выявить и обосновать необходимость создания в учебном заведении ряда педагогических условий [1, 6]:

- разработка дополнительного учебного модуля «Риторика»;
- использование традиционных и инновационных образовательных технологий и методик развития коммуникативно-риторической компетенции;
- соответствующая подготовка педагогических кадров вуза в условиях повышения квалификации;
- создание университетом условий для активной научно-исследовательской и социальной деятельности студентов;
- сотрудничество образовательных учреждений с крупными предприятиями, компаниями, научно-исследовательскими центрами».

Реализация данных условий в полной мере возможна на базе исследовательского университета как образовательного учреждения особенного типа. Такой вуз отличается целенаправленной подготовкой квалифицированных кадров путем активного ведения научных исследований с ориентацией на будущность выпускников, т.е. их дальнейшее функционирование в профессии.

Анализ результатов экспериментального исследования. Авторами был разработан проект программы образовательного модуля «Риторика», который обладает адаптивностью под конкретные образовательные условия и нужды: стать включением в общеобразовательную дисциплину; выступать в качестве самостоятельной дисциплины в основной программе вузовского образования, а также присутствовать в программе

дополнительного профессионального образования или повышения квалификации преподавателей.

Цели освоения модуля «Риторика»: совершенствование коммуникативно-риторических навыков студентов; формирование навыков самоорганизации, саморазвития и самооценки; развитие навыков эффективного социального взаимодействия, командной работы и проявления лидерских качеств.

Программа модуля состоит из четырех разделов. Первый: «Каноны Риторики: композиция, культура речи, самоподача» включает четыре лекционных занятия (*Традиционная риторика и риторика в профессиональной деятельности, Каноны традиционной риторики. Учение о композиции, Культура речи человека в контексте его социальной и профессиональной деятельности, Самоподача оратора*) и четыре практических (*Композиционные сценарии публичного выступления, Прогнозирование и контроль коммуникативных ситуаций, Планирование публичной речи, Сознательное использование невербальных средств общения*). Второй – «Коммуникативные качества речи» представлен лекционными (*Общение как социальное и профессиональное явление, Коммуникативные качества речи*) и практическими занятиями (*Анализ коммуникативных качеств речи оратора, Практическое применение коммуникативных навыков в ситуации дебатов*). Третий раздел «Развитие и совершенствование речевых навыков» включает теоретическое занятие и практические (*Речевые навыки оратора, Тренировка техники речи по системе Станиславского*). Заключительный, четвертый раздел – «Этика профессионального общения».

Итоговая зачетная работа – подготовка сообщения по заданной теме (самостоятельный анализ предложенного отрывка произведения) с последующим выступлением перед аудиторией. Работа на выступление должна включать в себя все изученные аспекты риторического мастерства. Она должна соответствовать основным закономерностям публичной речи, а также в ней должны быть реализованы разработанные в ходе практических занятий коммуникативно-риторические сценарии. Само выступление должно соответствовать требованиям качественной публичной речи, следовательно, студентами должны быть учтено использование вербальных и паралингвистических техник и приемов.

Для выявления педагогической эффективности представленного проекта программы модуля «Риторика» нами был организован и проведен педагогический эксперимент среди студентов-бакалавров, получающих высшее и дополнительное образование на базе КНИТУ. На этапе констатирующего эксперимента нами было проведено анкетирование, которое ставило своей целью выявить: реакцию студентов на различные коммуникативно-риторические ситуации, речевые проблемы, уровень осознания студентами значимости своих коммуникативно-риторических качеств, наличие потребности в изучении риторики.

Результаты анкетирования позволяют сделать вывод о том, что речевые навыки студентов инженерных специальностей, отражающие определенную манеру поведения в различных коммуникативно-риторических ситуациях, развиты не в достаточной

степени. Например, в ситуации диспута лишь 42% опрошенных готовы до конца отстаивать свою точку зрения, остальные же уступают в процессе спора и даже изначально не готовы защищать свое мнение, отказываясь вступать в полемику. Данная ситуация также является индикатором недостаточной развитости навыков эмоционального контроля при стрессовой коммуникации. 23,5% респондентов признают, что пошли бы на конфликт и стали ругаться. Ситуация неуверенности в своих коммуникативно-речевых качествах закономерно наблюдается в высоком уровне волнения у большинства респондентов в ситуациях деловой встречи, публичного выступления, общения с незнакомыми людьми. Так, почти 90% опрошенных испытывает волнение в ожидании деловой встречи. Волнение при публичном выступлении испытывает более 3/4 опрошенных студентов, причем 21% из них подвержены чувству страха высокой интенсивности. И почти половина опрошенных студентов не чувствуют себя комфортно при общении с незнакомыми людьми, а часть из них стараются полностью избегать контакта с незнакомцами. Отсутствие значительной развитости мыслительно-речевых навыков выражается в ситуации коммуникативного экспромта, когда общение является незапланированным, внезапным. Желание быть заранее готовым к речевой ситуации наглядно иллюстрируется тем, что 50% опрошенных более удобно выражать свою точку зрения в письменной форме, тогда как устной отдали предпочтение лишь 27%.

Результат анкетирования позволяет сделать вывод о наличии у респондентов эмоционально-психологических блоков, сказывающихся на качестве их коммуникативных и риторических возможностей. Примером таких блоков служит предубеждение о существующей проблеме в общении между представителями разных поколений. Так, 55% опрошенных студентов уверены в трудностях коммуникации людей разного возраста. Так же к эмоционально-психологическим блокам при коммуникативно-речевых ситуациях можно отнести выражение факторов волнения в речевом поведении респондентов. 65% опрошенных студентов свойственно физическое проявление волнения, отраженное в способности воспроизводить и контролировать речь.

Важной характеристикой мнения опрашиваемых студентов является осознанное восприятие коммуникативно-риторического потенциала. Это отражается в объективной критической оценке состояния коммуникативной культуры в контексте современной social-media среды. Большинство опрошенных студентов отмечают тенденцию перемещения общения в виртуальное пространство социальных сетей и минимизацию живой коммуникации за счет гаджет-культуры. 94% опрошенных, являясь будущими инженерами, осознают значимость коммуникативно-риторической компетенции в своей дальнейшей профессиональной деятельности. И 98% считают необходимым развивать свои навыки общения и публичной речи.

Наряду с анкетированием, у части экспериментальной группы проводилось педагогическое наблюдение, которое ставило своей целью выявить уровень риторических умений и коммуникабельности студентов, а также определить основные показатели риторических умений, которые станут контрольными точками нашего эксперимента. Параллельно с педагогическим наблюдением проводилось письменное тестирование студентов в целях более объективного выявления знания норм русского языка, которое

включало в себя задания на проверку акцентологических, грамматических и стилистических норм языка.

Совокупность результатов всех частей констатирующего эксперимента позволили сделать следующие выводы:

- подавляющее большинство студентов технических специальностей испытывают затруднения в различных коммуникативных ситуациях, связанных с отсутствием соответствующих навыков;
- в основном будущие инженеры обладают низким уровнем развития риторического мастерства, испытывают затруднение с составлением и репрезентацией текстов социально-публицистического и профессионального характера;
- уровень речевой культуры студентов инженерного вуза является удовлетворительным, однако в устной форме не демонстрируется в должной степени;
- основная масса студентов указанных специальностей испытывают волнение и даже страх в ситуациях публичной речи и спонтанной коммуникации;
- подавляющее большинство будущих инженеров осознают значимость коммуникативно-риторического мастерства в предстоящей профессиональной деятельности;
- участвовавшие в эксперименте студенты способны критически оценить уровень развития собственных коммуникативно-риторических навыков и понимают необходимость, а также выражают желание работать над их совершенствованием.

Нами был разработан и проведен обучающий эксперимент, в основу которого была положена концепция развития коммуникативно-риторической компетенции будущих инженеров в рамках занятий образовательного модуля «Риторика». На основании констатирующего эксперимента нами были определены умения и навыки, развитие которых должно быть подвергнуто оценке по окончании обучающего эксперимента.

Экспериментальное обучение проводилось в нескольких направлениях:

1. Изучение теоретического материала: усвоение основных понятий и терминов риторики, явлений, факторов, законов и правил.
2. Изучение практических средств риторики: законов, типов речи, стилей, тропов, вербальных и невербальных средств выразительности.
3. Моделирование коммуникативно-риторических ситуаций на основе метода case-study- и script-метода. Case-study-метод – это современная технология профессионально-ориентированного обучения. Метод представляет собой проблемно-ситуативный анализ, относится к неигровым имитационным активным методам обучения. Суть метода case-study заключается в совместном усилии группы студентов проанализировать ситуацию – case (в нашем случае коммуникативно-риторическую). Результатом такой работы становится нахождение практического решения путем оценки найденных алгоритмов и выбор лучшего в контексте поставленной проблемы.

Особенность применения метода кейсов в рамках практического обучения риторике заключается в том, что часто результатом проработки ситуаций становится не определенный алгоритм действий, а готовый речевой сценарий. В этой связи нами использовался script-метод, который активно практикуется в области менеджмента. Скрипт – это

готовый речевой сценарий для отработки определенной задачи или ситуации. Набор проработанных кейсов и готовых к ним скриптов может служить своеобразным конструктором начинающему оратору. Такая практика призвана помочь студентам в подготовке выступлений в рамках программы модуля, а также в их дальнейшей учебной и профессиональной деятельности: выступление на семинарах, научных конференциях, на защитах курсовых и дипломных работ, проектов и пр.

Метод кейсов и готовых сценариев, на наш взгляд, наиболее эффективен именно в среде представителей технических специальностей (инженеров). Поскольку такая методика, по сути, представляет собой знакомый им принцип формул, где существует готовый шаблон и необходимо лишь подставлять вариативные значения в зависимости от условия и задач и ситуаций. Важно отметить: при том, что результат работы упрощает, и даже на первый взгляд примитивизирует деятельность студента как оратора (в смысле работы по шаблону), сам процесс поиска решений и рассмотрения различных возможных вариантов событий является активной творческой деятельностью, направленной на речемыслительное развитие. В методе case-study формальность традиционного изложения материала преподавателем заменена условиями творческой конкуренции и эмоций, связанных с эвристической стороной процесса.

4. Создание студентами собственных текстов на основе использования изученного и практикуемого материала.

5. Выступление студентов перед аудиторией в качестве профессионального оратора с использованием изучаемых риторических средств.

6. Организованное участие студентов в симуляции диспута и других речевых ситуаций профессионально-ориентированного делового общения.

7. Практика студентов в оценке и самооценке в сфере коммуникативно-риторической деятельности.

8. Тренировка практических речепроизводительных навыков студентов путем выполнения упражнений на технику дыхания, развитие дикции, управление мышцами лица, вариативность интонации на основе системы техники сценической речи.

Обучающий эксперимент подтвердил эффективность предлагаемых методов. Анализ диагностики позволил сделать вывод, что определенные нами показатели риторических умений студентов – будущих инженеров по результатам экспериментального обучения имеют положительную динамику. Нами были проанализированы следующие показатели риторических умений будущих инженеров: правильное структурирование композиции текста; выстраивание системы аргументации, основанной на законах логики; соблюдение грамматических, акцентологических и стилистических норм русского языка; демонстрация богатого словарного запаса; использование средств образной выразительности; осознанное владение просодическими и кинесическими средствами выразительности; контроль признаков волнения; умение давать ответы на различные типы вопросов.

По каждому из показателей наблюдался очевидный прогресс. Данный вывод сделан на основании сравнения процента от совокупного количества человек двух испытуемых групп, соответствующих показателям на момент констатирующего эксперимента и

процента студентов, отвечающих заданным критериям на заключительном этапе эксперимента.

Таким образом, эффективность разработанного нами проекта программы модуля «Риторика» была доказана результатами экспериментального исследования. На основании этого нами выработан ряд рекомендаций к отбору и структурированию материала, а также методам развития коммуникативно-риторической компетенции будущих инженеров.

Заключение. Способность к профессиональному общению у будущих инженеров целесообразно развивать на уровне вузовской подготовки. Предложено обоснование ее эффективного развития за счет создания комплекса соответствующих педагогических условий. Эти условия учитывают и опираются на возможности исследовательского университета. Разработаны рекомендации к отбору и структурированию материала и методов для специального учебного модуля. В ходе проведения исследования и анализа его результатов обозначился ряд проблем, требующих дальнейшего рассмотрения, в том числе более обширный поиск инновационных методик мотивационного обеспечения и развития способности к профессиональному общению будущих инженеров.

Список использованных источников

1. Шагеева, Ф. Т. Развитие коммуникативно-риторической компетенции будущих инженеров в исследовательском университете / Ф. Т. Шагеева, М. Л. Смирнова // Высшее образование в России. – 2019. – Т. 28, № 12. – С. 141 – 150.
2. Шитов, С. Б. Опережающее инженерное образование в современных условиях взгляд / С. Б. Шитов // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2017. – № 1. – С. 109 – 113.
3. Чучалин, А. И. Модернизация инженерного образования на основе международных стандартов CDIO / А. И. Чучалин // Инженерное образование. – 2014. – № 16. – С. 14 – 29.
4. Инженерная педагогика: методологические вопросы (круглый стол) / Сенашенко В. С., Вербицкий А. А., Ибрагимов Г. И. и др. // Высшее образование в России. – 2017. – № 11(217). – С. 137 – 157.
5. Педагогическая подготовка преподавателя инженерного вуза / М. Г. Минин, Г. Ф. Бенсон, Э. Н. Беломестнова, В. С. Паканова // Высшее образование в России. – 2014. – № 4. – С. 20 – 29.
6. Шагеева, Ф. Т. Педагогическое мастерство преподавателей инженерного вуза: пути совершенствования / Ф. Т. Шагеева // Высшее образование в России. – 2017. – № 10(216). – С. 88 – 93.

Г. М. Ахмадиев

(Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, Набережные Челны, Россия,
e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru)

РУБЕЖИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ В РОССИИ

Аннотация. В настоящее время Россия, как и российская школа, стали уже не только подлинно открытыми образовательными учреждениями, но и в значительной мере объединены в мир. Глобальные процессы, все более динамично происходящие в мире, требуют дальнейшей целенаправленной и интенсивной работы в этом направлении. Сохраняя свою самобытность, свои лучшие традиции, российское образование вместе с тем должно в полной мере учесть мировые образовательные тенденции, должно быть соотнесено с мировыми нормами и стандартами, должно быть приближено к чертежам общеевропейского, общемирового дома.

Ключевые слова: российское образование, единая образовательно-информационная сеть, интернет-технологий, дистанционное обучение, самостоятельная работа, студент, школьник, сельская местность.

G. M. Akhmadiev

(Naberezhnye Chelny Institute (branch) K(P)FU, Naberezhnye Chelny, Russia)

THE FRONTIERS AND PERSPECTIVES OF ELECTRONIC EDUCATION AND SCIENCE IN RUSSIA

Abstract. At present, Russia, like the Russian school, has become not only truly open educational institutions, but also largely integrated into the world. Global processes, which are increasingly dynamic in the world, require further focused and intensive work in this direction. While preserving its identity, its best traditions, Russian education must also take into account the world educational trends, should be correlated with world norms and standards, should be brought closer to the drawings of a pan-European, world-wide home.

Keywords: russian education, unified educational and information network, Internet technologies, distance learning, independent work, student.

Введение. В настоящее время система российского образования за последние годы претерпела значительные изменения в русле общих процессов экономических и политических преобразований, происходящих в обществе. Законы Российской Федерации: «Об образовании», «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», Национальная доктрина образования в Российской Федерации, охватывающая период до 2025 г., национальный проект развития образования, государственная программа «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации до 2025 года» – все эти

документы стали важнейшей законодательной базой в сфере образования [2 – 7]. Интеграция России в международное образовательное пространство – пожалуй, главная на настоящий момент задача и основные тенденции развития российского образования определяются именно этой целью. Несмотря на это, стало окончательно ясно, что закрытая школа, как и закрытое общество, не способна к стабильному динамическому развитию. Сегодня открытость образования – это обращенность образования к единому и неделимому миру, к его глобальным проблемам и в то же время различие на карте человечества лица других народов, других культур, способность участвовать в диалоге с ними, во взаимодействии, взаимообогащении. В настоящее время Россия, как и российская школа, стали уже не только подлинно открытыми, но и в значительной мере интегрированными в мир. Глобальные процессы, все более динамично происходящие в мире, требуют дальнейшей целенаправленной и интенсивной работы в этом направлении. Сохраняя свою самобытность, свои лучшие традиции, российское образование вместе с тем должно в полной мере учесть мировые образовательные тенденции, должно быть соотнесено с имеющимися мировыми нормами и стандартами, должно быть приближено к техническим и технологическим чертежам общеевропейского, общемирового дома.

Целью настоящей работы является методологическое определение рубежей и перспектив электронного образования и науки в России. Об электронном образовании в России заговорили серьезно в 1996 году на Конгрессе Юнеско, который проходил в Москве. На данном Конгрессе обсуждались вопросы необходимости внедрения электронного образования, в том числе и дистанционного, в систему обучения. Ввиду слабой информационной базы и отсутствия надлежащего технологического оснащения учебных заведений этот процесс охватил довольно значительный временной промежуток. За этот период времени было реализовано большое количество проектов по повышению квалификации преподавательского состава и ликвидации информационно-технологической безграмотности учащихся. Таким образом, на сегодняшний день, во многих городах России электронное обучение присутствует в учебных программах большинства школ и вузов. Электронное обучение в школах и лицеях с каждым годом становится все более популярным и востребованным, поскольку оно открывает огромные возможности для детей и их родителей. Особую актуальность электронное обучение приобретает для школьников из сельской местности, поскольку в селах возможность обучения данным способом остается лишь в планах и будущих образовательных проектах по развитию образования в сельских начальных и средних общеобразовательных школах. Электронное городское образование, наоборот, поэтапно набирает обороты. Большинство вузов таких городов, как Москва, Тула, Казань, Санкт-Петербург, Хабаровск и др., присоединилось к единой образовательно-информационной сети. Ряд учебных заведений, благодаря данной системе, открывает возможность прохождения дистанционного обучения не только учащимся из РФ, но и студентам из стран СНГ. Несмотря на то, что были проделаны огромные объемы работ по подключению школ и вузов к единой локальной

информационной сети и совершенствованию системы обучения, электронное образование РФ все же значительно уступает западным и европейским информационно-технологическим системам. Это связано в первую очередь с отсутствием единых интегрированных учебных электронных программ и электронно-методических пособий. Во вторую очередь, со слабой законодательной базой, например, в отношении образования, получаемого посредством дистанционного обучения. Лишь в некоторых городах, к примеру, в Казахстане, законом признается легальность дипломов, которые получены студентами посредством дистанционного электронного обучения. При этом в законодательном акте четко указываются условия и возможности получения образования данным способом. В-третьих, стоит подчеркнуть, длительный процесс адаптации со стороны преподавателей, поскольку глобальное внедрение интернет-технологий требует применения новых навыков, например, ведения электронного дневника, журнала. Иными словами, помимо проблемы психологической адаптации, добавляется и дополнительная нагрузка, которая заключается в необходимости заполнения не только бумажной, но и электронной документации. Если говорить о преимуществах данного вида обучения, то нельзя не отметить тот факт, что заметно повысился общий образовательный уровень учащихся и педагогов. Открылись огромные перспективы для тех, кто по каким-либо причинам не может посещать учебные заведения. Кроме того, появилась уникальная возможность получения высшего образования путем дистанционного обучения. И, конечно же, нельзя не отметить преимущества от сотрудничества с зарубежными вузами посредством проведения аудио- и видеоконференций и иного применения интернет-технологий. Будущее высшее и среднее образование системы невозможно представить без IT-технологий и ее составляющих. Однако для того, чтобы электронное образование в нашей стране стало конкурентоспособным, и можно было достичь значительных успехов на данном направлении, предстоит проделать еще много нужной полезной перспективной работы в области освоения и совершенствования электронных программ, пособий и информационных технологий как в городской, так и в сельской местности. *Для преподавателей вузов* такая форма обучения, прежде всего, означает появление дополнительной возможности подачи материала студентам, т.е. фактически появляется возможность при той же нагрузке обучать большее число студентов. Неудивительно, что при всех своих очевидных достоинствах, дистанционная форма обучения быстро завоевала огромную популярность в образовательном мире. Постепенно ею также заинтересовались и крупные корпорации, справедливо предположив, что данная форма обучения позволит им быстро, относительно недорого, качественно и, что самое главное, без отрыва от производства повысить уровень подготовки своих кадров. За последнее время степень вовлеченности Интернет в образование, количество online-курсов, их тематика, различные способы реализации и общая направленность в целом привели к возникновению более емкого термина «*e-Learning*». Европейская комиссия определяет *e-Learning* как «использование новых технологий мультимедиа и Интернет для повышения качества обучения за счет улучшения доступа к ресурсам и сервисам, а также удаленного обмена знаниями и совместной

работы». Электронное обучение сегодня – это учебный процесс, в котором используются интерактивные электронные средства доставки информации: компакт-диски; корпоративные сети; Internet [1]. Помимо решения своей первоочередной задачи – обучения на расстоянии посредством Интернет – e-Learning, также является отличным дополнением очной формы обучения и может служить хорошим подспорьем для повышения качества и эффективности традиционного обучения. Особо следует отметить, что эти преимущества были по достоинству оценены самими студентами. Компания SkillSoft осуществила опрос учащихся 16 крупных зарубежных университетов, которые используют технологии электронного обучения качестве дополнения к традиционному образованию. Особо студентами были отмечены следующие преимущества e-Learning курсов: гибкость, экономия времени, простота возвращения к пройденному учебному материалу. Перечисленные достоинства электронного обучения оценены и в России. Однако следует отметить, что при всех перечисленных достоинствах электронного обучения «для всех» остаются ряд проблем. К ним относятся следующие: проблема качества электронных курсов (кто и как может их оценить), правовые проблемы, связанные с защитой интеллектуальной собственности, финансовые, касающиеся затрат на подготовку электронных курсов их обновление, кадровые проблемы, связанные с подготовкой преподавателей, способных и желающих разрабатывать и постоянно обновлять такие курсы. Безусловно, преподаватель, используя технологии электронного обучения в технических вузах и включая подготовку технологов машиностроителей, может обучить большее число студентов, территориально разобщенных, но принесет ли это желаемый педагогический и экономический эффект? При традиционном процессе обучения «лицом к лицу» преподаватель имеет необходимую для обучения обратную связь сразу же, реагирует на нее, «по ходу» перестраивая учебный материал, имеет возможность делать на глазах студентов этот материал более доступным. Конечно, для подготовки электронных курсов должен быть использован опыт преподавателей-экспертов, в своем деле, но не всегда преподаватель имеет для этого необходимое время, умение работать с компьютером по технологии создания электронных курсов.

Заключение. Таким образом, в настоящее время для отечественных и зарубежных вузов является очевидным, что электронное обучение – это не временное увлечение. Поэтому необходимо уже сегодня заботиться о комплексном решении перечисленных проблем, может быть, создать межвузовский Центр по оценке качества электронных курсов, по подготовке преподавателей. При этом особое внимание обратить на организации, работающие на рынке информационных технологий, на проблемы комплексной информатизации вузов.

Список использованных источников

1. Сатунина, А. Е. Электронное обучение: плюсы и минусы / А. Е. Сатунина // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 1. – URL : <https://science-education.ru/ru/article/view?id=103> (дата обращения: 23.01.2018).

2. Баранова, М. Л. Культурно-историческая динамика системы специального образования: факторы и тенденции / М. Л. Баранова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Общественные науки. – 2006. – № 5. – С. 98 – 105.

3. Воловик, И. В. Модернизация российского образования и тенденции развития мировой системы образования / И. В. Воловик // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2008. – № 4. – С. 82 – 85.

3. Иванкина, Л. И. Тенденции современного образования и проблема целостного развития личности / Л. И. Иванкина // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 306, № 3. – С. 132 – 140.

4. Иванова, З. И. Общие тенденции в международном высшем образовании с позиций глобализации образования / З. И. Иванова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. – 2007. – Т. 7, № 1. – С. 77 – 80.

5. Иванова, И. Н. О тенденциях развития современного образования / И. Н. Иванова // Инновации в образовании. – 2008. – № 3. – С. 5 – 23.

6. Мельник, В. В. Глобальные тенденции и особенности модернизации высшего профессионального образования в России / В. В. Мельник // Университетское управление: практика и анализ. – 2009. – № 5. – С. 58 – 63.

7. Силкин, Р. С. Тенденции развития и проблемы реформирования высшего образования / Р. С. Силкин, Н. В. Силкина // Экономика образования. – 2006. – № 2. – С. 18 – 24.

Н. В. Чигиринская

(Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия,
e-mail: nvtchi@yandex.ru)

ПРОБЛЕМА СОПРЯЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ И ФГОС В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация. От качества подготовки инженеров зависит жизнеспособность общества, его потенциальные возможности в решении тактических и стратегических задач не только в технической, но и социальной и нравственной сферах. Рассматривая проектирование содержания с позиций культурно-деятельностного и компетентностного подходов, а также анализируя современное состояние инженерного дела и инженерного образования, автор постулирует принципы сопряжения требований профстандартов и ФГОС в инновационном инженерном образовании. Особо подчеркивается роль *государственного* регулирования стандартов образования на основе разумного сочетания теоретической (формальной) и компетентностной (практической) модели образования.

Ключевые слова: принципы проектирования, модель инженерной деятельности, стохастический подход, государственное регулирование, профессиональные компетенции, стандарт образования.

N. V. Chigirinskaya

(Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia)

UNIFICATION THE REQUIREMENTS OF PROFESSIONAL AND EDUCATIONAL STANDARDS IN ENGINEERING EDUCATION

Abstract. The society's vitality and potential in solving tactical and strategic tasks not only in the technical, but also in the social and moral spheres, depends on the quality of training of engineers. Considering the design of content from the standpoint of cultural, activity and competence approaches, as well as analyzing the current state of engineering and engineering education, the author postulates the principles of unification the requirements of professional and the Federal State Educational Standards in innovative engineering education. The role of government regulation of education standards on the basis of a reasonable combination of theoretical (formal) and competence-based (practical) models of education is especially emphasized.

Keywords: principles of design, model of engineering activity, stochastic approach, descriptive design, professional competences, educational standard.

Введение. Инженерное проектирование и конструирование, опирающееся на знание фундаментальных научных дисциплин, всегда закладывало основу для безопасного и комфортного проживания человечества. Сказанное позволяет утверждать, что от качества подготовки инженеров зависит жизнеспособность общества, его потенциальные возможности в решении тактических и стратегических задач не только в технической, но и социальной и нравственной сферах. В этом ее локальный смысл. Инженер как носитель

инженерного замысла, через профессиональную культуру и компетенции рефлексивует и критически предъявляет принципы рационального упорядочивания действительности. Поскольку предельным выражением инженерного замысла является *разумная* (курсив Н. Ч.) организация жизни, можно предположить, что она означает переход к новому типу цивилизационного развития – третьему по отношению к традиционалистскому и техногенному, к новому видению инженерии как феномена культуры [3].

Постановка задачи. Цель статьи – осмысление этого феномена и выделение в контексте проблем инженерного образования принципов сопряжения требований профстандартов и ФГОС в инновационном инженерном образовании, а также возможных технологий обеспечения качества подготовки будущих инженеров.

Методология и методика исследования. В исследовании используются следующие методы: контент-анализ, обобщение, сравнение данных, стохастическое и дескриптивное моделирование. Большое значение имеют научно-методические труды А. П. Платонова, А. М. Михайлова, Г. И. Гослау, В. П. Маркова, Д. К. Советкина, С. А. Владимирского, М. М. Рубинштейна, А. И. Соколовского, Э. Ф. Зеера, Ю. Г. Татура. Особо выделим исследования на тему инженерии как пространства материальной культуры Э. Крика.

Результаты исследования. Какие же проблемы сейчас стоят перед инженерным образованием, и как гармоничное сочетание требований профстандартов и ФГОС позволит решить эти проблемы.

Основной проблемой Российской экономики является ее многоукладность. Так, по данным [1] на технологии второго уклада приходится 10%, третьего – около 30%, четвертого – 50% (в основном, в военно-промышленном комплексе и авиакосмической отрасли), пятого – примерно 10%. В то же время в США на долю третьего экономического уклада приходится – 15%, четвертого – 20%, пятого – 60%. И шестой технологический уклад составляет уже около 5%.

Состояние отечественного инженерного дела, по результатам экспертного анализа, проведенного Ассоциацией инженерного образования России (АИОР), нельзя признать удовлетворительным [2]: 28% экспертов считают, что инженерное дело в России находится в состоянии системного кризиса, 30% – в критическом состоянии и 27% – в состоянии стагнации. Это подтверждают и объективные данные. Ситуация осложняется тем, что 82% российского экспорта составляют продукты «низкой сложности» и низкой стоимости [2]. Экономики развитых стран в свое время также столкнулись с этой проблемой. Известно, например, что в странах большой семерки производительность в отраслях, не использующих передовые технологии, увеличилась менее, чем на 50%. Чтобы ликвидировать отставание, были предприняты меры по обеспечению высоких темпов роста производительности за счет «прорывных» технологий и «радикальных» инноваций, позволяющих достичь нового качества производственно-технологических процессов, а также перейти к выпуску продуктов, «закрывающих» старые и «открывающих» новые секторы и отрасли [1].

Очевидно, что уровень развития инженерии неразрывно связан с состоянием инженерного образования и, как следствие, уровнем подготовки инженеров. По мнению

экспертов, уровень подготовки инженеров в России признан удовлетворительным или хорошим (85% экспертов). Следует заметить, что эти данные находятся в противоречии с другой оценкой экспертов, поскольку только 15% экспертов считают состояние инженерного дела в России удовлетворительным или хорошим. Объяснением этого противоречия может служить гипотеза о несогласованности принципов, содержания и форм подготовки современных специалистов в области техники и технологии (специалистов, бакалавров, магистров) требованиям современного производства, а также в несогласованности требований профстандартов, созданных на основе предпочтений потенциальных работодателей к компетенциям выпускников, заявленных во ФГОС. Выделим принципы построения содержания инженерного образования, способного гармонизировать требования работодателей и ФГОС, и тем самым, обеспечить качественную подготовку в вузе. Нам видятся (подробно – в нашей работе [3]) следующие.

Принцип системности заключается в том, что объект инженерного проектирования должен рассматриваться, во-первых, как комплекс *избирательно* вовлеченных компонентов, во-вторых, их взаимодействие и взаимосвязь приобретают характер взаимодействия, в-третьих, они обеспечивают целенаправленный полезный результат, в-четвертых, как элемент системы более высокого уровня, в-пятых – открытость систем. Открытые образовательные системы предусматривают, в отличие от закрытых систем, динамическое взаимодействие внутренней среды с окружающим миром. Применительно к системе инженерного образования сказанное указывает на необходимость пересмотра образовательного контента, с одновременным закреплением очагов организованности во временно-пространственном потоке социально-экономической среды.

Принцип саморазвития вытекает из особенности социальных систем. Что означает этот принцип на практике? Всякая проектная документация (федеральный образовательный стандарт, основная образовательная программа, учебный план) есть *стратегическое* решение, опирающееся на законодательную базу (Закон об образовании) и обеспечивающее всем субъектам образовательного процесса гарантированную и мотивированную возможность участвовать в его разработке, осуществлении и модернизации.

Принцип фундаментализации образования. Необходимо понимание не только академическим, но и законодательным и исполнительным сообществом, что, только опираясь на фундаментальность научных и технических знаний сегодня, мы сможем индуцировать институциональные формы инновационного процесса: наряду с давно существующей интеграцией прикладной науки с промышленностью (феномен научных парков) должно резко возрасти количество разнообразных новых форм сотрудничества центров академической науки (в лице вузов) и промышленности. Должна измениться география таких центров.

Принцип качественности (квалиметрии) образования. Наряду с качественной определенностью (однородностью), все предметы обладают также количественной определенностью, которая может быть в процессе познания (например, в математических дисциплинах, статистике) отделена от содержания. Исключительная применимость математических теорий в инженерии объясняется высоким уровнем абстракции последней. Известно, что процесс создания новой технологии, программы, промышленного образца

немыслим без проведения экспериментов, выдвижения догадок, предположений, гипотез. Получающиеся при этом выводы позволяют смоделировать интересующий инженера процесс с заданной вероятностью, дать неопределимую информацию о будущем состоянии. В современных инженерных образовательных стандартах стохастическая линия прописана в таких базовых дисциплинах как теория вероятностей, математическая статистика и теория случайных процессов. Если говорить о содержании этих курсов, то он уже прошел проверку временем. Однако учебная программа по теории случайных процессов требует доработки, так как не дает глубокого представления о разнообразных направлениях данной теории и ее применениях. Если попытаться соотнести математическую и прикладную статистику, то очевидно, что только теоретической базы инженеру уже явно недостаточно. Нам представляется, что современный инженер должен владеть, во-первых, методологией организации статистического исследования: как планировать исследование, собирать данные, подготавливать их к обработке, представлять результаты. Во-вторых, организацией компьютерной обработки данных, в том числе разработкой и использования баз данных [3] и электронных таблиц, статистических программных продуктов, например, диалоговых систем анализа данных. Поэтому сейчас, как никогда прежде, необходим переход на стохастические модели проектирования содержания инженерного образования.

Принцип коэволюции инженерной культуры, экономической среды и инженерного образования на основе принципов CDIO. Анализ современного состояния образования и возможных эффективных методов сокращения разрыва между теорией и практикой показывает, что принцип коэволюции нашел свое выражение в инициативе CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate – Замысел, Разработка, Внедрение, Использование). Декларируемая цель CDIO: инженер – выпускник вуза должен уметь придумать новый продукт или новую техническую идею, осуществлять все конструкторские работы по ее воплощению (или давать нужные указания тем, кто будет этим заниматься), внедрить в производство то, что получилось [3]. Примером реализации принципов CDIO в инженерном образовании может служить подготовка магистров по новым направлениям специальностей. Компетенции профессорско-преподавательского состава являются основой и движущей силой развития новых направлений подготовки специалистов. Для успешной подготовки магистров наличие стержневых компетенций должно определяться следующим рядом условий, вытекающих из положений CDIO.

Привлеченные специалисты с предприятий и родственных кафедр должны обладать не только стержневыми профессиональными, но и исключительными компетенциями.

Моделью, дающей наиболее полное воплощение этого принципа, является проектное обучение. Однако подчеркнем, что в нашем понимании в применении модели проектного обучения сознательно не делается ставка на раннее проектное обучение, когда студенты уже на первых курсах активно вовлекаются в реализацию проектов, но еще до того, как они получили необходимый объем фундаментальных знаний. Отметим также, что для освоения передовых технологий было бы целесообразно реализовать

формулу обучения: $2 + 2 + 2$, в которой сильные студенты могли бы иметь возможность выбрать свою траекторию обучения. Например, свободно переходить на другие кафедры, предлагающие более высокий уровень образования. Таким образом, существовала бы гибкая коррекция обучения и отбора для разных категорий инженеров.

Выводы. Обеспечение качества подготовки будущих инженеров на основе гармоничного сопряжения требований профстандартов и ФГОС должно происходить в следующих основных направлениях:

- видение объективных процессов, втягивающих общество и его экономику в единую совместную систему безопасного развития человека, общества и природы как стохастических;
- интеллектуальная реиндустриализация, основанная на модификации продуктов инженерного творчества, придание им интероперабельности, учет актуальных и прогнозных потребностей общества;
- стимулирование участия бизнес-сообщества, инжиниринговых фирм, промышленных компаний в работе по созданию эндаумент-фондов вузов, генерации предпринимателей в сфере наукоемкого бизнеса и формирование общества с высоким уровнем технологической культуры;
- формирование целостной системы гарантий качества инженерного образования, включающую прежде всего качественный научно-педагогический корпус вузов, государственную аккредитацию вузов, принятую вузом, международную общественно-профессиональную аккредитацию инженерных образовательных программ и международную сертификацию инженеров, ведение национального регистра аккредитующих организаций и национального регистра инженеров-профессионалов;
- разумная политика укрупнения вузов путем их присоединения к «родственным» вузам, сходным по формальным признакам (профилям подготовки);
- развитие практико-ориентированных (проектных) образовательных технологий путем создания профессиональных кадровых центров на базе крупных промышленных предприятий и базовых кафедр;
- глобальное переосмысление работы образовательных систем, переход к количественной оценке образовательного процесса на основе качественного анализа.

Список использованных источников

1. Каблов, Е. Н. Российская наука – источник знаний и технологий для шестого технологического уклада / Е. Н. Каблов // Поиск. – 2017. – № 37. – 15/09/2017.
2. Проблемы инженерного образования. – М. : Центр стратегических разработок. – 2017. – URL : www.csr.ru/news/1867/ (дата обращения: 07.11.2018).
3. Чигиринская, Н. В. Новые цели и принципы отбора содержания инженерного образования: от профессиональной компетентности к экономической культуре инженера / Н. В. Чигиринская // Известия ВолгГТУ. Серия «Проблемы социально-гуманитарного знания». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 9(112). – С. 122 – 125.

Н. Н. Газизова, С. Р. Еникеева, Н. Н. Никонова
(Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия, e-mail: zarnik@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Аннотация. Сформулированы принципы организации дистанционного обучения учащихся младших курсов высших учебных заведений. В свете перехода к актуализированным образовательным стандартам главной целью образования и критерием эффективности его качества становится профессиональная компетентность выпускаемого специалиста. Переход на дистанционное обучение выявил проблемы такого вида занятий и открыл перспективы развития для достижения основной цели. Опыт работы показал, что дистанционное обучение может использоваться в качестве дополнительного инструмента, например, для индивидуализации в обучении.

Ключевые слова: дистанционное обучение, учебный процесс, тестовые задания, образовательный стандарт, индикаторы достижения компетенций.

N. N. Gazizova, S. R. Enikeeva, N. V. Nikonova
(Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia)

MATHEMATICAL TRAINING OF BACHELORS OF TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Abstract. The principles of the organization of distance learning of junior students of higher education institutions are formulated. In the light of the transition to updated educational standards, the main goal of education and the criterion for the effectiveness of its quality is the professional competence of the graduate. The transition to distance learning has revealed the problems of this type of activity and opened up development prospects for achieving the main goal. Experience has shown that distance learning can be used as an additional tool, for example, for individualization in training.

Keywords: distance learning, educational process, test tasks, educational standard, indicators of achievement of competencies.

Переход к актуализированным образовательным стандартам ФГОС ВО (3++) требует коренного пересмотра основных образовательных программ по всем направлениям подготовки бакалавриата и магистратуры. При этом высшие учебные заведения должны планировать результаты обучения по дисциплинам в соответствии с установленными в примерной образовательной программе индикаторами достижения компетенций. А запланированные результаты обучения обязаны обеспечить формирование универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций по всем предметам у каждого выпускника образовательного учреждения. Остановимся на преподавании предмета «Математика» специальности «18.00.00 Химические технологии». Одним из индикаторов достижения компетенций здесь является ИД-5: Умеет проводить анализ

функций, решать основные задачи теории вероятностей и математической статистики, решать системы дифференциальных уравнений применительно к реальным процессам, применять математические методы при решении типовых профессиональных задач.

Овладение этими компетенциями невозможно без качественного математического образования выпускников технологического университета. Именно математические знания выполняют роль методологической основы естественнонаучного знания, общенаучного языка, стержневой составляющей большинства образовательных и специальных дисциплин технологического университета. Для продуктивной деятельности в современном информационном мире необходим достаточно высокий уровень математической подготовки. Студент должен владеть математическими методами на уровне, достаточном для их применения при решении профессиональных задач методами построения математической модели типовых профессиональных задач и содержательной интерпретации полученных результатов. Конкурентоспособный специалист должен обладать вышеперечисленными компетенциями, владеть абстрактным мышлением и иметь творческое воображение. Таким образом, математическая подготовка должна быть направлена на формирование профессионально-прикладной математической компетентности как важнейшей составляющей профессиональной компетентности специалиста [1].

В связи с этим необходимо применение различных современных методик обучения, стимулирование творческого потенциала студентов. Необходимо учитывать индивидуальные особенности учащихся, максимально развивать их познавательную активность и познавательный интерес. Профессиональное высшее образование должно осваивать новые технологии и направления [2].

Новые реалии 2020 года изменили весь процесс обучения, заставив всех перейти на дистанционный формат.

Многие вузы организовали работу обучающихся и преподавателей в электронной информационно-образовательной среде. В Казанском национальном исследовательском технологическом университете используют Moodle (модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда), с использованием различных образовательных технологий, позволяющих обеспечивать взаимодействие обучающихся и педагогических работников опосредованно (на расстоянии), в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для доступа к платформе всем студентам предоставлены логины и пароли, с помощью которых они могут ознакомиться со всем контентом. При этом, несмотря на всю привлекательность онлайн-обучения, студенты отмечают, что непосредственный контакт с преподавателем необходим. Как показало вынужденное дистанционное обучение, совместные проекты, выполнение заданий в группах, взаимопомощь не должны быть исключены из учебного процесса. Ни один видеоурок или видеолекция, онлайн-консультация, связь с помощью электронных средств не может заменить живое общение с преподавателем, его опыт и педагогические навыки.

Задача преподавателя состоит не только в том, чтобы донести до студента знания, причем в доступной для него форме. Обе стороны участников образовательного процесса оказались фактически не готовы к такой кардинальной перестройке учебного

процесса ни морально, ни технически. Студентам оказалось очень сложно организовать самостоятельную работу. Возникли проблемы с нехваткой времени, неумением пользоваться научной литературой и учебниками. Преподавателям пришлось перестраивать образовательный процесс, менять годами наработанные наглядные, презентационные материалы. Один формат – доказывать теорему и последовательно, следуя логике доказательства, выводить доказательства. Или, при решении примера, на доске выводить формулы, используемые в данной задаче, объясняя их применение. И другой формат, когда студент сразу получает полную картинку, в которой трудно разобраться, даже, если следует объяснение.

Техническое обеспечение при такой вынужденной и экстренной мере тоже оказалось не на высоте. И, если преподаватели, в большинстве своем смогли наладить технический процесс, то у студентов оказалось много неразрешимых проблем, начиная от слабой техники, отсутствия Интернета, особенно в удаленных районах, и заканчивая полным отсутствием технического обеспечения.

Опыт использования показал, что дистанционное обучение может использоваться в качестве дополнительного инструмента, например, для индивидуализации в обучении. Индивидуализация предполагает, что в центре обучения находится сам обучающийся – студент как личность, с его мотивами, целями [3]. Исходя из интересов студента, уровня его знаний и умений, преподаватель определяет учебную цель занятия, формирует, направляет и корректирует весь образовательный процесс, определяет дальнейшее направление развития. Основу онлайн-обучения должен составлять тщательно спроектированный и спланированный учебный процесс в электронной информационно-образовательной среде, поддерживаемый методически обоснованной и целенаправленной последовательностью учебно-методических и контрольно-измерительных материалов, которые обеспечивают достижение результатов обучения в формате очного и дистанционного обучения [4]. При индивидуализации обучения ставится и решается основная задача образования – создание условий для развития гармоничной, самостоятельно принимающей решения, профессионально-компетентной личности. Индивидуализация в обучении достигается также с помощью индивидуального подхода к каждому студенту. Должна быть выбрана модель обучения, учитываться темп усвоения материала, который в большинстве своем должен быть углубленным по отношению к программе, должна быть определена система оценивания работы, прописана роль преподавателя и студента и учтены многие другие факторы. Выполнение домашних заданий в зависимости от степени обучаемости студентов, подготовка докладов и рефератов для более углубленного изучения темы, дополнительные задания для самостоятельного решения – все это способствует индивидуализации обучения. Для использования такой формы образования студент должен иметь очень высокую мотивацию на протяжении всего процесса обучения. В связи с этим, внедрение массового дистанционного образования, исключительно с помощью инструкций вуза, без общения с преподавателем, скорее всего, будет малоэффективным для большинства обучающихся. Для определения индивидуального уровня освоения материала в системе Moodle на кафедре высшей математики сформировано более 2500 вопросов разных уровней сложности, охватывающих все изучаемые темы в

полном объеме. Разработаны обучающие тесты, тесты для самоподготовки и самопроверки [5]. Вначале студентам предлагается решить обучающие тесты, в которых подробно разобраны задания различного уровня трудности, с указанием методов их решения и приведенными ссылками на теоретический материал. Далее студенты решают тесты для самоподготовки и самопроверки, которые содержат основные задачи, решаемые с использованием одной или нескольких формул. Студенты закрепляют полученные знания и постепенно переходят все к более сложным заданиям.

Список использованных источников

1. Бикмухаметова, Д. Н. Организация самостоятельной работы студентов с использованием интерактивных методов обучения / Д. Н. Бикмухаметова, А. Р. Миндубаева, Е. М. Нуриева // Казанская наука. – 2016. – № 10. – С. 128 – 130.

2. Еникеева, С. Р. Математическое моделирование как средство развития общепрофессиональных компетенций студентов при изучении математики / С. Р. Еникеева, Е. Д. Крайнова // Электронные библиотеки. – 2019. – Т. 22, В. 5. – С. 367 – 372.

3. Газизова, Н. Н. Дидактическая модель математической подготовки в технологическом университете / Н. Н. Газизова, Н. В. Никонова // Интеграция методической (научно-методической) работы и системы повышения квалификации кадров : материалы XXI Международной научно-практической конференции. – 20 апреля 2020 г. – Москва-Челябинск. – ЧИППКРО. – С. 163 – 168.

4. Барабанова, С. В. Информационные и цифровые технологии в исследовательском университете: опыт реализации / С. В. Барабанова, Н. Н. Газизова, Н. В. Никонова // Казанский педагогический журнал. – 2019. – № 5(136). – С. 35 – 41.

5. Газизова, Н. Н. Оценка текущих знаний с помощью рейтинговой системы контроля. Компетентностный подход / Н. Н. Газизова, Г. А. Никонова, Н. В. Никонова // Модернизация системы профессионального образования на основе регулируемого эволюционирования: материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Челябинск : Челябинский институт переподготовки и повышения квалификации работников образования, 2017. – С. 179 – 185.

Ю. М. Зубарев, Н. В. Шведова

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: natalius777@mail.ru)

**ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОБЛЕМ
ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Аннотация. Развитие и модернизация транспортного машиностроения неразрывно связаны с научным сопровождением деятельности предприятий и их обеспечением высококвалифицированными кадрами.

Ключевые слова: транспортное и судовое машиностроение, повышение конкурентоспособности, инженерные кадры, практико-ориентированная система, модернизация и эффективность производства.

Yu. M. Zubarev, N. V. Shvedova

(Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia)

**FEATURES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT
TECHNOLOGICAL EDUCATION AND PROBLEMS
TRAINING OF PERSONNEL FOR TRANSPORT ENGINEERING**

Abstract. The development and modernization of transport engineering is inextricably linked with the scientific support of enterprises and their provision with highly qualified personnel.

Keyword: transport and marine engineering, improving competitiveness, engineering personnel, practice-oriented system, modernization and production efficiency.

Перспективы развития рынка изделий судового машиностроения, производимых в настоящее время, неразрывно связаны с задачами, поставленными в документах, затрагивающих всю сферу транспортного судостроения и, в том числе, российского судостроения [1, 2].

По оптимистичным оценкам специалистов, российские верфи способны строить по заказам отечественных транспортных компаний не менее 30 морских транспортных судов в год суммарным дедевейтом не менее 400 тыс. т.

«Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2030 года» [2] предусматривает реализацию целевого ряда мероприятий, направленных на повышение конкурентоспособности российских судостроительных предприятий на внутреннем и внешних рынках, а также их переориентацию на строительство высокотехнологичных судов, в том числе платформ, танкеров ледового класса и газовозов для освоения шельфовых месторождений углеводородного сырья, рост потребности в которых ожидается в ближайшей перспективе.

Серьезным недостатком сегодня в работе предприятий судостроительной отрасли является отсутствие большой серийности судов, не позволяющей полностью отработать серийное производство механизмов для них, а также, во многих случаях, уникальность создаваемого оборудования и, как следствие, его дальнейшая невостребованность, низкая производительность труда и длительные сроки сдачи объектов производства.

Сегодня ослаблено научное сопровождение деятельности предприятий и организаций машиностроительного цикла, а также недостаточное обеспечение их соответствующими высококвалифицированными инженерными и научными кадрами.

Указанные особенности порождают проблемы, от решения которых зависит возрождение мощи изделий отечественного судового судостроения, стабильность его развития в целом, а также повышение его конкурентоспособности.

Таким образом, без решения ключевой проблемы обеспечения машиностроения в целом, в том числе и судового машиностроения, высококвалифицированными инженерными кадрами, невозможно решить задачу по ее ускорению развития и модернизации.

Сегодня остро стоит вопрос о более глубоком изучении основ естественнонаучных, общетехнических и специальных технических дисциплин. Быстро меняющаяся техника и технологии, стремительный натиск цифровизации диктуют необходимость быстрого переучивания и самостоятельного освоения нового. А весьма небольшие базовые знания, которые предлагает федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) по бакалавриату, вызывают и будут еще больше вызывать в дальнейшем большие проблемы.

Необходимо как можно быстрее вернуться к подготовке инженерных кадров по специалитету, как это осталось в большинстве стран Европы, Америки и Азии. Кроме того, в целях подготовки выпускников технических вузов, обладающих не только хорошиими теоретическими знаниями, но и практическими навыками и знаниями современного машиностроительного производства, необходимо шире внедрять интегрированную с производством систему обучения. Сегодня в Германии она развивается под названием «дуальная система подготовки кадров», в которой задействовано более 35% технических и технологических вузов. В США программы «кооперированного образования» применяют около трети университетов. У нас в стране имеется большой, 80-летний опыт подготовки инженеров по такой системе. В СССР было 7 самостоятельных вузов и около 15 факультетов в технических вузах, которые готовили инженерные кадры по интегрированной с производством системе обучения (вначале она называлась «завод-втуз»). Она прекрасно себя зарекомендовала и пользовалась заслуженным авторитетом и спросом у промышленных предприятий. К сожалению, недальновидная политика Минвуза и его склонность к различным сомнительным преобразованиям, привели к ликвидации всех «заводов-втузов», которые выдержали «натиск лихих 90-х» в начале XXI века.

При интегрированной с производством системе обучения, по окончании вуза, выпускники не нуждаются в длительной адаптации на производстве, или же она происходит значительно быстрее.

Вывод. Поставленные большие задачи по модернизации отечественного транспортного и судового машиностроения, обеспечению их технической и технологической независимости, а также значительного повышения эффективности производства невозможно решить без высококвалифицированных инженерных и рабочих кадров.

Список использованных источников

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года.
2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения 2013 – 2030 годы».
3. Богданов, А. А. Стратегия развития изделий судового машиностроения / А. А. Богданов, В. И. Черненко, Д. А. Скороходов // Морской вестник. – СПб., 2018. – № 2 (66). – С. 45 – 50.
4. Зубарев, Ю. М. Проблемы подготовки специалистов для машиностроительного комплекса России / Ю. М. Зубарев, В. И. Черненко // Справочник. Инженерный журнал. – М., 2019. – 10 (271). – С. 48 – 51.

В. Г. Мокрозуб, С. А. Рачкова, К. А. Меркушева, Ф. И. Вшивков
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: mokrozubv@yandex.ru)

ВИРТУАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ

Аннотация. Описана подготовка проведения онлайн-изучения CAD/CAM систем, требующих установки на домашних компьютерах студентов.

Ключевые слова: онлайн-обучение, техническая подготовка.

V. G. Mokrozub, S. A. Rachkova, K. A. Merkusheva, F. I. Vshivkov
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

VIRTUAL MOBILITY OF STUDENTS

Abstract. The article describes the preparation for online-study of CAD/CAM systems that require installation on students' home computers.

Keywords: online training, technical training.

В целях обеспечения повышения качества обучения студентов в настоящее время активно развивается сетевое взаимодействие вузов, которое заключается в обучении студентов одного вуза преподавателями другого.

Существует много публикаций, посвященных сетевым формам обучения. Существует много публикаций, посвященных сетевым формам обучения. В работе [1] представлен анализ моделей сетевой формы обучения.

Авторы публикаций о сетевом взаимодействии образовательных учреждений и онлайн-обучении основное внимание уделяют формам организации учебного процесса, преимуществам и недостаткам онлайн-обучения и практически не затрагивают техническую сторону организации учебного процесса.

Для получения практических навыков работы в CAD/CAM-системах при традиционной форме обучения используются компьютерные классы, в которых на всех компьютерах установлена одинаковая операционная система и настроен доступ к лицензиям изучаемых программных продуктов. Это установка делается один раз и может не меняться годами.

При удаленном обучении изучаемые CAD/CAM-системы должны быть установлены на домашних компьютерах студентов, которые должны иметь доступ к серверу лицензий университета и каждый новый поток студентов должен устанавливать их у себя (рис. 1).

Прежде чем начать изучение CAD/CAM-системы, необходима предварительная подготовка, план проведения которой может быть следующим:

- сбор IP-адресов или имен пользователей компьютеров студентов;
- обеспечение возможности копирования установочного диска CAD/CAM-системы обучающимися студентами;

- обеспечение удаленного доступа к лицензии CAD/CAM-системы обучающимся студентам;
- организация помощи студентам в установке CAD/CAM-системы;
- тестирование студентами удаленного доступа к CAD/CAM-системы;
- организация оперативной связи со студентами, курирование процесса установки студентами CAD/CAM-системы.



Рис. 1. Структура сетевого взаимодействия компьютеров при онлайн-обучении

Таким образом, в подготовке дистанционного обучения участвуют не только преподаватели, которые ведут определенный курс, но и службы университета, обеспечивающие поддержку сервера лицензий. Кроме того, на преподавателя или его ассистентов ложится работа по сбору информации о компьютерах студентов и передача этой информации в соответствующие службы для обеспечения доступа к серверу лицензий. Как показывает практика, эта организационная работа занимает достаточно много времени.

Список использованных источников

1. Борисова, О. Н. Анализ применения сетевой формы образования в России / О. Н. Борисова, А. Б. Яцкевич // Мировые цивилизации. – 2018. – Т. 3, № 4. – С. 6.

В. Г. Мокрозуб, М. С. Калистратов, С. А. Рачкова, Ф. И. Вшивков, П. Н. Жуков
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: mokrozubv@yandex.ru)

**ВИРТУАЛЬНЫЙ КАБИНЕТ «КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ» ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ПРОГРАММЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

Аннотация. Представлено описание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования», используемого для обучения студентов по программе «Технология машиностроения».

Ключевые слова: виртуальный кабинет, технология машиностроения, обучение.

V. G. Mokrozub, M. S. Kalistratov, S. A. Rachkova, F. I. Vshivkov, P. N. Zhukov
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

**VIRTUAL OFFICE «CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT» FOR
TRAINING STUDENTS IN THE PROGRAM ENGINEERING “TECHNOLOGY”**

Abstract. The description of the virtual Cabinet “designing of technological equipment” used for training students in the program “engineering Technology” is presented.

Keywords: virtual office, industrial and manufacturing engineering, training.

Классические CAD/CAM-системы являются инструментом для разработки проектов. Встроенная в них система помощи представляет собой описание интерфейса разработки отдельных элементов проекта. Их изучение сводится к изучению технологии разработки проектов, а не к изучению фундаментальных основ проектирования.

Несомненный интерес при обучении представляет разработка виртуальных кабинетов (ВК), предназначенных для изучения отдельных групп технических дисциплин, одним из которых является виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [1 – 3].

ВК представляет собой информационную систему, предназначенную как для проектирования технических объектов, так и для изучения их работы и основ конструирования и расчета.

По сути, ВК представляет собой элементы учебной CAD/CAM-системы. Причем термин «учебная» понимается не в смысле упрощенная или облегченная, а в смысле, что промышленная система «утяжелена» компонентами, позволяющими проводить обучение выбранной предметной области.

На рисунке 1 представлено меню ВК для обучения студентов технологии изготовления кожухотрубчатых теплообменников.

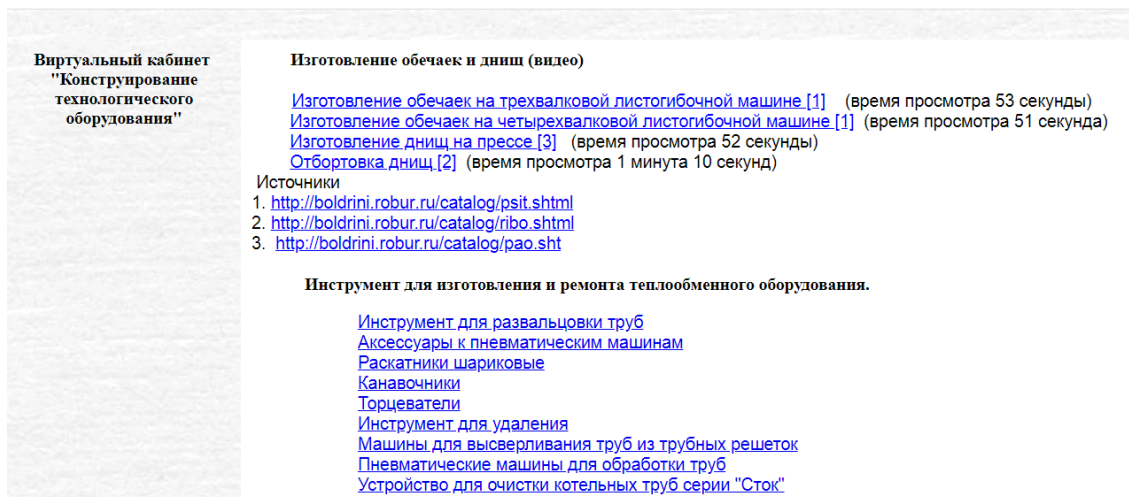


Рис. 1. Меню ВК для изучения технологии изготовления кожухотрубчатых теплообменников

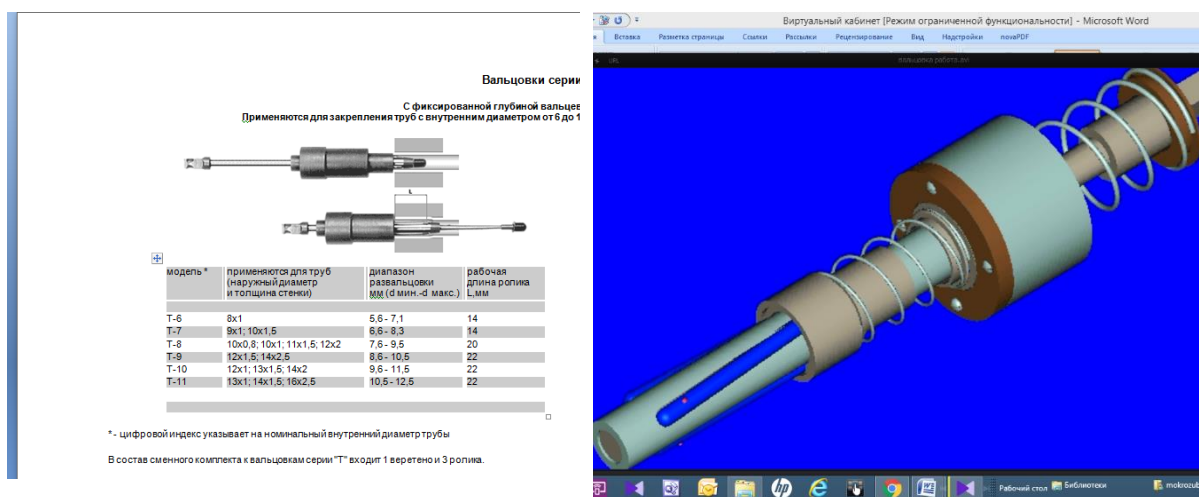


Рис. 2. Пример инструмента для развальцовки труб

Авторы готовы передать материалы всем заинтересованным по принципу «как есть» при условии получения акта внедрения или использования.

Список использованных источников

1. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели // С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, И. В. Милованов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3 – 11.
2. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете / В. Мокрозуб // САПР и графика. – 2015. – № 1(219). – С. 38–39.
3. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В. Г. Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34 – 40.

Научное электронное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСПОРТНОМ И ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

**Материалы XII Международной научно-технической конференции
Ассоциации технологов-машиностроителей**

Тамбов, 6 – 9 октября 2020 г.

Редакторы: Л. В. Комбарова, И. В. Калистратова
Компьютерное макетирование Т. Ю. Зотовой, И. В. Евсеевой

ISBN 978-5-8265-2269-1



Подписано к использованию 02.12.2020.

Тираж 100 шт. Заказ № 121

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru