

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-63555 от 30 октября 2015 г.

Учредитель: ООО «Русайнс»  
117218, Москва,  
ул. Кедрова, д. 14, корп. 2

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

**Абдикеев Нияз Мустякимович**, д.т.н., проф., зам. проректора по научной работе (Финнуниверситет)

**Агеев Олег Алексеевич**, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, директор Научно-образовательного центра Южного федерального университета «Нанотехнологии»

**Бакшеев Дмитрий Семенович**, д.т.н., проф., (вице-президент РИА)

**Величко Евгений Георгиевич**, д.т.н., проф., проф. кафедры строительных материалов и материаловедения (НИУ МГСУ)

**Гусев Борис Владимирович**, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН (президент РИА)

**Демьянов Анатолий Алексеевич**, д.э.н., директор Департамента транспортной безопасности (Минтранс РФ)

**Добшиц Лев Михайлович**, д.т.н., проф., проф. кафедры строительных материалов и технологии (РУТ (МИИТ))

**Егоров Владимир Георгиевич**, д.и.н., д.э.н., проф., первый зам. директора (Институт стран СНГ)

**Кондращенко Валерий Иванович**, д.т.н., проф., проф. кафедры строительных материалов и технологии (РУТ (МИИТ));

**Левин Юрий Анатольевич**, д.э.н., проф. (МГИМО)

**Лёвин Борис Алексеевич**, д.т.н., проф. (ректор МИИТ)

**Ложкин Виталий Петрович**, д.т.н., проф. (Технологический институт бетона и железобетона)

**Мешалкин Валерий Павлович**, д.т.н., проф., акад. РАН, завкафедрой логики и экономической информатики (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

**Поляков Владимир Юрьевич**, д.т.н., проф., проф. кафедры мосты и тоннели (РУТ (МИИТ))

**Русанов Юрий Юрьевич**, д.э.н., проф., (РЭУ им. Г.В. Плеханова)

**Саурин Василий Васильевич**, д.ф.-м.н., проф. (Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН)

**Сильвестров Сергей Николаевич**, д.э.н., проф., засл. экономист РФ, зав. кафедрой «Мировая экономика и международный бизнес» (Финнуниверситет)

**Соколова Юлия Андреевна**, д.т.н., проф., ректор (Институт экономики и предпринимательства)

**Челноков Виталий Вячеславович**, д.т.н. (РИА)

#### МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ:

**Палениус Ари**, проф., директор кампуса г. Керва Университета прикладных наук Лауреа (Финляндия)

**Джун Гуан**, проф., зам. декана Института экономики и бизнес-администрирования, Пекинский технологический университет (Китай)

**Кафаров Вячеслав В.**, д.т.н., проф. Universidad Industrial de Santander (Колумбия)

**Лаи Дешенг**, проф., декан Института экономики и бизнес-администрирования, Пекинский технологический университет (Китай)

**Марек Вочозка**, проф., ректор Технично-экономического института в Чешских Будейовицах (Чехия)

**Она Гражина Ракаускиене**, д.э.н., проф., Университет им. Миколаса Ромериса (Литва)

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Валинурова Лилия Сабиховна**, д.э.н., проф., засл. деят. науки РБ (БашГУ)

**Кабакова Софья Иосифовна**, д.э.н., проф. (НОУ ВПО «ИМПЭ им. А.С. Грибоедова»)

**Касаев Борис Султанович**, д.э.н., проф. (Финансовый университет при Правительстве РФ)

**Касьянов Геннадий Иванович**, д.т.н., проф., засл. деят. науки РФ, (КубГУ)

**Лавренов Сергей Яковлевич**, д.полит.н., проф. (Институт стран СНГ)

**Ларионов Аркадий Николаевич**, д.э.н., проф., ген. директор (ООО «НИЦ «Стратегия»)

**Носова Светлана Сергеевна**, д.э.н., проф. (НИЯУ МИФИ)

**Сулимова Елена Александровна**, к.э.н., доц. (РЭУ им. Г.В. Плеханова)

**Тихомиров Николай Петрович**, д.э.н., проф., засл. деят. науки РФ, завкафедрой (РЭУ им. Г.В. Плеханова)

**Тургель Ирина Дмитриевна**, д.э.н., проф., зам.директора по науке Высшей школы экономики и менеджмента ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**Шапкарин Игорь Петрович**, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «МГУДТ»)

**Юденков Юрий Николаевич**, к.э.н., доц., (МГУ им. М.В. Ломоносова)

Главный редактор:  
**Сулимова Е.А.**,  
канд.экон.наук, доц.

Адрес редакции:  
117218, Москва,  
ул. Кедрова, д. 14, корп. 2  
Сайт: [www.innovazia.ru](http://www.innovazia.ru)  
E-mail: [innovazia@list.ru](mailto:innovazia@list.ru)

Отпечатано в типографии ООО «Русайнс»,  
117218, Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2  
02. 06.20 20. Тираж 300 экз. Свободная цена

Все материалы, публикуемые  
в журнале, подлежат внутреннему  
и внешнему рецензированию

## Содержание

### УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ

Возможности применения теории решения изобретательских задач в практике управления инновационными проектами. Кручинина В.В., Андриянова М.В. ....	3
Влияние инновационных научно-технологических центров на развитие страны. Квашина В.В., Сломинская Е.Н., Иванов С.Ю., Неклюдова И.В. ....	7
Инновационная составляющая экономической безопасности региона. Карсунцева О.В., Буркина Т.А. ....	10
Формирование финансового механизма стимулирования инновационной деятельности промышленных корпораций в условиях цифровой экономики. Маншилин С.А. ....	15
Цифровые инновации как драйвер развития страхового рынка России. Григорян А.А. ....	20
Инновационный менеджмент в управлении промышленным предприятием. Ефимова Н.С., Халов О.М., Паршин И.А. ....	25
Современные и инновационные методы управления маркетингом высокоразрядных гостиничных предприятий. Ильина Е.Л., Тарасенко Э.В., Латкин А.Н., Валединая Е.Н., Русо М.А. ....	28

### УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Анализ стилей различных стратегий смешанных инвестиционных фондов: на основании консервативных, умеренных и агрессивных фондов. Добрева Н.М. ....	34
В поисках новых инструментов стимулирования экономического развития. Зенкина Е.В. ....	38
Инвестиционная привлекательность Республики Северная Осетия-Алания: современное состояние и тенденции изменения. Дроздов В.В., Кусов Г.З. ....	42
Особенности оценки инвестиционной привлекательности объектов офисной недвижимости. Ушакова Е.О., Власова Н.А. ....	48

### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Разработка и тестирование эффективной методики применения технического анализа на российском рынке. Толкачев И.С., Котов А.С. ....	52
Социально-экономическая дифференциация населения России в условиях научно-технического прогресса. Хаустова К.В., Цхададзе Н.В., Екатеринбургская М.А. ....	58

### МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА

Позиции европейских автоконцернов в мировой автомобильной промышленности. Алиева А.Б. ....	62
Пандемия 2020 - китайские инициативы демпфирования рисков. Бобков А.В., Верещагина В.К. ....	67
Анализ основных тенденций мирового и российского рынков биометрических технологий. Бойко Т.А., Бойко А.А. ....	72
Концепция «Девяти мостов» и перспективы развития российско-южнокорейских экономических отношений. Кривошеев М.Д. ....	77
Бизнес-модель электронной коммерции свежих продуктов в Китае. Лю Мэнна ....	81
COVID-19 и глобализация. Максимова Е.В., Морозов В.В. ....	86
Энергосбережение и повышение энергоэффективности как вектор развития мирового энергетического комплекса. Попадью Н.В., Найденова В.М. ....	91
Нефтяной рынок Канады. Голованова А.Е., Краденова И.А., Меджидов К.А., Сенаторов М.К. ....	96
Текущее состояние и перспективы развития энергетического комплекса Исландии. Халова Г.О., Гришина В.О. ....	100
Подходы к нейтрализации рисков развития международной цифровой торговли. Смирнов Е.Н. ....	104

### ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Консалтинг в области корпоративной социальной ответственности: возможности и основные направления. Андриянова М.В. ....	109
Совершенствование системы мотивации персонала как фактор повышения эффективности деятельности организации. Басова О.В. ....	113
Анализ основных тенденций развития PLM-систем. Бойко Т.А. ....	119
Цифровизация и управление закупками в процессе достижения социальных и экономических эффектов закупочной деятельности. Дёгтев Г.В., Гладилина И.П., Лабутина Н.Н. ....	124
Стратегия диверсификации наукоёмких корпораций (на примере ПАО «Корпорация Иркут»). Глебанова А.Ю., Анохин В.С. ....	128
Роль подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров в современных условиях функционирования социально-экономических институтов. Жусупова Г.М., Силенко А.Н. ....	131
Роль внедрения Кайдзен в формировании корпоративной культуры. Немцов Д.В. ....	134
Современное управление конкурентоспособностью отечественных промышленных предприятий на основе инновационно-маркетинговых технологий. Сазонов А.А., Сазонова М.В. ....	137
Экономическая эффективность информационной системы. Хаанаева Г.А. ....	140
Риски информационной безопасности коммерческих банков в условиях новой экономической и технологической реальности. Нестерова Д.А. ....	144

### ФИНАНСЫ. НАЛОГООБЛОЖЕНИЕ. СТРАХОВАНИЕ

Финансовые инструменты повышения продовольственной безопасности ЕвразЭС. Айтказина М.А., Ералиева Я.А., Кожаметова А.К. ....	151
Облигации как инструмент долговой политики местных органов власти Китайской Народной Республики. Гальнис К.И. ....	155
Этическая дилемма в инвестиционном банковском секторе. Карапетян М.Э., Проница И.В., Тимошенко Л.П., Прусакова Д.А. ....	161
Сравнительный анализ медицинского страхования в России и США. Трифонова М.А. ....	165
Применение факторной модели теории арбитражного ценообразования в моделировании и оптимизации вложений в digital маркетинг. Шора А.Ю. ....	170

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Электроды из низколегированного наноструктурированными частицами хрома сплава меди для контактной точечной сварки. Бусыгин С.Л., Довженко Н.Н., Можаяев А.В., Демченко А.И., Безруких А.А. ....	174
Выбор оптимальных технологий переработки газоконденсата на основе их физико-химических свойств. Гумарова А.Ж. ....	179
Полиномиальное сглаживание вариационным методом многомерных экспериментальных данных и их визуализация. Клячина Н.В., Соловьёва О.Ю. ....	184
Проектирование сложного программного обеспечения с использованием микросервисной архитектуры. Кугушева Д.С. ....	188
Повышение качества поверхностного слоя медицинских изделий с помощью комбинирования методов обработки. Хафизов И.И., Нуруллин И.Г. ....	191
Аналитические решения линейных обобщенных дифференциальных уравнений вида $x'' + p(x) = f(x)$ . Шипов Н.В. ....	196
Разработка рецептуры масляного бисквитного полуфабриката с повышенной пищевой ценностью. Головачева О.В., Шумилова А.Д., Николаева Т.А. ....	199

### СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

Организационно-технологическая подготовка строительства объектов в стесненных условиях. Бельчевский Р.О. ....	201
Принципы действия регуляторов расхода для каналов оросительных систем. Бенин Д.М. ....	204
Пространственные платформы как эффективные и экономичные фундаменты для зданий в сложных грунтовых условиях и сейсмичности строительных площадок. Грузков А.А., Соляник П.Е., Вернин Н.А. ....	207
Обеспечение качества при проектировании обогревательных систем в зеленом строительстве. Виноградова Н.А., Плеханова С.В. ....	212
Проблемы территориального планирования городов (на примере Москвы). Дедков А.Г. ....	217
Применение методов технологических транспортировок горючих материалов в строительном процессе. Ерофеев А.Д., Раимова А.И., Сиротина Е.В., Шагмуратов Т.Р., Вильданов Р.Г. ....	221
Формирование принципов устойчивости при проектировании зданий экологического типа. Кузьмин Н.Ю. ....	226
К вопросу о продолжительности инсоляции жилых помещений, снабженных балконами или лоджиями. Стецкий С.В., Ларионова К.О. ....	231
Эволюция архитектурных теорий: от утопии XX века к современным методам прогнозирования будущего. Орлов Е.А. ....	234
Использование вспененных материалов при производстве строительных перегородок и перекрытий. Василевская А.В., Кустикова М.А. ....	240
Энергосберегающие решения для систем кондиционирования воздуха пассажирского вагона. Гаранов С.А., Муха М.С. ....	243
Методика определения зависимости относительной стоимости жилого помещения многоквартирного дома от его износа в процессе эксплуатации. Хорошева Л.Н., Гладких В.С. ....	246
Модель вещества неорганического типа для применения в процессе строительства зданий и сооружений. Суворова А.А. ....	251
Расчёт периодичности ремонта и технического обслуживания низконапорных грунтовых плотин. Симонович О.С. ....	256
Анализ мирового опыта проектирования эколопов с учетом природных, климатических и культурных условий. Очирова Д.Д., Суворенков А.В., Демин А.В. ....	260
Направления развития территорий в составе спортивных объектов. Рыбакова А.Е., Суворенков А.В., Коржемло Я.А. ....	264
Анализ мирового опыта проектирования плавучих общественных пространств в городском контексте. Захарова А.Д., Суворенков А.В., Елизарова Я.В. ....	269
Применение инструментальных методов обработки сплавов в строительной сфере. Тутынин Н.В. ....	272
Легкие стальные тонкостенные конструкции в композитных балках из ячеистого бетона. Аль-Хаснави Яссер Сами Гариб ....	277

### ЭКОНОМИКА ОТРАСЛЕЙ И РЕГИОНОВ

Специфика деятельности специалистов по туроперейтингу в современных условиях развития индустрии туризма в России. Андропова Е.М., Журина И.И., Хутин С.А., Алексеева О.В., Юдашкина Е.Е. ....	280
Модернизация как стратегическое конкурентное преимущество развития региона в условиях кризиса. Кошкарёв М.В., Меньков Ф.В. ....	284
Влияние развития электроэнергетической инфраструктуры на рост экономики. Кузнецов П.А., Борисов Ю.А. ....	288
Оценка возможностей Владимирской области для развития этнокультурного туризма. Наумова Н.Н. ....	292
Роль средств массовой коммуникации в решении проблем овертуризма в особо охраняемых природных территориях. Наумова Н.Н., Масальцева Т.Н. ....	296
Стратегический подход к диверсификации производственного потенциала предприятий авиастроения. Шеулина Т.В., Ковтун С.А., Олейникова М.В., Литвина Е.М., Кузовкин В.В., Круглова О.В. ....	301
Проблемы и перспективы развития авиационной отрасли России. Яковлева М.В., Зенин А.И., Бехтин Б.А., Максимовская И.С., Лапушкина Е.А., Саввина Е.Ф. ....	305
Проблемы и перспективы формирования и развития топливно-энергетического комплекса Дальневосточного федерального округа. Юрченко Н.Ю., Кулов О.В. ....	308
Алгоритмы для обобщения факторов функционирования жилищно-коммунального хозяйства в случае использования цифровых технологий. Попов А.А. ....	314
Технология и организация предоставления дополнительных услуг в гостиничном бизнесе. Дусенко С.В., Рогачева О.А. ....	320
Конгресс-туризм как драйвер роста региональных и национальных экономик. Нюрнбергер Л.Б., Севрюков И.Ю., Петренко Н.Е. ....	323
Анализ российского рынка инновационных препаратов на основе моноклональных антител. Уваров Д.А. ....	328
Стратегия российских вертикально-интегрированных нефтяных компаний в условиях неопределённости рынка нефти (на примере ПАО НК «Роснефть»). Хашукаев С.Ф. ....	333

# Повышение качества поверхностного слоя медицинских изделий с помощью комбинирования методов обработок

## Хафизов Ильдар Ильсурович

кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по образовательной деятельности Инженерного института К(П)ФУ ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Khafizov@kpfu.ru

## Нуруллин Инсаф Галимуллович

аспирант Инженерного института К(П)ФУ ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Opro16@yandex.ru

Статья посвящена вопросам повышения качества поверхностного слоя медицинских изделий. В ходе работы проводился анализ степени разработанности темы и влияния применения комбинированной обработки на повышение качества поверхностного слоя. Рассмотрены достоинства и недостатки электроэрозионной обработки. Сделан вывод о том, что комбинированная обработка, которая сочетает в себе электроэрозионные и другие специально подобранные методы обработок, позволяет существенно повысить качество и ресурс изделий за счёт создания поверхностей с заранее заданными стабильными свойствами. В работе используется метод моделирования и структурирования возможностей формирования обработки материалов медицинского назначения. Авторы показывают, что динамика определения структурных особенностей обработки материалов основывается на принципах бережливого производства и экономически данная структура выявляется как дополнительная для достижения качественных особенностей. Практическая значимость исследования определяется динамическими показателями формирования структурных особенностей материаловедения.

**Ключевые слова:** качество, электроэрозионная обработка, поверхностный слой, медицинские изделия, комбинирования, производительность, шероховатость.

Развитие технологии машиностроения характеризуется совершенствованием технологических методов и приемов преобразования исходного материала детали в состояние, соответствующее условиям эксплуатации изделий.

Дорабатываются конструкции деталей и узлов машин, создаются новые материалы и внедряются современные технологические процессы изготовления заготовок и их обработки [1].

Поверхностный слой представляет собой наружную часть изделия с изменёнными по сравнению с основным металлом структурой и составом.

В процессе эксплуатации он подвергается интенсивному износу и именно с него в большинстве случаев начинается потеря служебного назначения и разрушение детали (усталостная трещина, абразивный износ, коррозия и др.) [2].

Существует достаточно большое количество различных технологических методов повышения качества поверхности деталей. Наиболее распространёнными из них являются, гальванические и химические методы нанесения покрытий, наплавка, напыление, ионная имплантация, лазерная обработка. Обеспечивая повышение эксплуатационных свойств и улучшение декоративного вида изделий, эти методы, в то же время, являются экологически небезопасными, загрязняют окружающую среду и представляют сложность во время утилизации отходов [3].

Комбинирование специально подобранных методов во время обработки деталей представляет новые возможности для повышения качества поверхностного слоя и помогает получению износостойких и коррозионно-стойких покрытий, которые не уступают по своим свойствам другим покрытиям, полученным более дорогими способами [4].

Но на данный момент, использование комбинированного способа обработки требует более подробного исследования и обоснования повышения качества обработанной поверхности в зависимости от свойств обрабатываемого материала, режимов резания, эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей [5].

В настоящее время имеется большое число математических зависимостей для определения эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений, которые описаны в работах Крагельского И.В., Михина Н.М. Однако эти зависимости, как правило, носят эмпирический характер, а теоретические уравнения не учитывают состояние поверхностного слоя во всех его геометрических и физико-механических аспектах. В работах Сулова А. Г., Безъязычного В. Ф. приведены универсальные теоретические зависимости для определения эксплуатационных свойств деталей с учётом параметров состояния поверхностного слоя (шероховатости, волнистости, макроотклонения и физико-механических свойств) [6].

Интерес в области повышения выносливости материалов представляют работы А. М. Сулимы, М. И. Ев-

стигнеева, С. В. Серенсена. Эти работы посвящены изучению остаточных напряжений в поверхностном слое [7].

Также в некоторых работах приведены теоретические и экспериментальные исследования влияния технологических факторов на упрочнение поверхностного слоя [8].

Исследования в этом направлении обусловлены необходимостью изучения связей между характеристиками качества поверхностей и параметрами обработки, а также эксплуатационными свойствами деталей. Кроме того, необходима разработка обоснованных методик оценки технологических возможностей и производительности комбинированной обработки, а также математических зависимостей, позволяющих рассчитывать параметры обработки.

Как уже известно, состояние качества поверхностного слоя оказывает прямое существенное влияние на эксплуатационные свойства изделий [9].

Изменение структуры и повышение качества поверхностного слоя в дальнейшем поможет быстрее выздороветь пациенту после некоторых операций, так как детали будут меньше подвержены коррозии и ржавлению. Для достижения максимального эффекта будет использована технология комбинирования специально подобранных методов при обработке деталей [10].

Комбинированная обработка, сочетающая электроэрозионную обработку и другие специально подобранные методы, позволит существенно повысить качество и ресурс изделий за счёт создания поверхностей с заранее заданными стабильными свойствами.

Методами комбинированной обработки называют методы, в которых процесс преобразования, нанесения или удаления обрабатываемого материала происходит в результате протекания двух и более воздействий, осуществляемых по своему механизму [11].

Основная особенность и преимущество – это достижение более высокой эффективности, по сравнению с ситуацией, когда составляющие данное сочетание методы использовались бы отдельно.

Самой распространённой причиной таких совмещений является необходимость в первую очередь повысить производительность, не преследуя цели резко улучшить качества поверхности и (или) снижения износа инструмента. В таких случаях реально получить возрастания этого показателя в несколько десятков раз [12].

Как отмечают другие авторы, производительность комбинирования, значительно выше суммы производительностей каждого метода, взятого отдельно. Так, по сравнению с абразивным и алмазным электроабразивное и электроалмазное шлифование повышают производительность обработки в 3-5 раз, электроэрозионно-абразивное в 2-3 раза, электроэрозионно-химическое в 8-10 раз. При совмещении ЭЭО и ЭХО производительность повышается в несколько десятков раз по сравнению с ЭЭО [13].

Сочетая, во время комбинирования, различные методы обработок, мы можем устранить специфические недостатки, присущие каждому из этих методов, а преимущества сделать более явными [14].

Таким образом, данный способ позволяет не только повысить качество поверхности, но и открывает новые возможности по увеличению производительности и снижению трудоёмкости обработки, что является существенным преимуществом комбинированной обработки перед другими способами [15].

Изучив множество методов обработок и проанализировав собранные данные, пришли к следующему мнению: как основной метод обработки будет выбран метод ЭЭО. Этот метод будет комбинироваться с другими специально подобранными методами. Такое комбинирование даст возможность применению сразу нескольких способов воздействия [16].

Электроэрозионная обработка – это метод, при котором под действием электрических разрядов между заготовкой и электрод-инструментом, изменяется формы, размеры, шероховатости и другие свойства поверхности электропроводной заготовки. Причиной данных изменений является разрушение верхнего слоя поверхности материала под влиянием внешнего воздействия электрического разряда.

Практически все металлы относятся к токопроводящим веществам, поэтому ЭЭО можно применять для обработки всех видов сплавов. При ЭЭО положительным является увеличение твёрдости поверхности, при сохранении вязкой сердцевины, что приведет к повышению износостойкости. Также хорошо влияет на условия удержания смазки, наличие на поверхности большого количества лунок и их плавное сопряжение [17].

Основания выбора метода ЭЭО, как базового метода:

- 1) Высокое качество изделий;
- 2) Себестоимость и эффективность изготовления продукции;
- 3) Выполнение операций, проведение которых экономически нецелесообразно на других типах станков (фрезерных, токарных);
- 4) Изготовление деталей из материалов, трудно поддающихся обработке традиционными инструментами;
- 5) Обеспечение высокой точности резки;
- 6) - Применим для материалов любой плотности (труднообрабатываемые материалы, твердые сплавы и другие очень прочные материалы) [18].

Одновременно с отмеченными достоинствами электроэрозионный метод имеет также некоторые недостатки:

- 1) Невысокая производительность обработки на чистовых режимах;
- 2) Большой удельный расход электроэнергии;
- 3) Применима только для электропроводящих материалов.

Комбинирование с другими методами поможет снизить влияние этих недостатков до возможного минимума [19].

Анализируя перечисленные достоинства и недостатки, можем сделать вывод о том, что преимущества ЭЭО проявляются существенно заметны при изготовлении деталей сложной формы из труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Основной целью дальнейших исследований является повышение качества поверхностного слоя медицинских изделий и техники. Работа будет вестись в следующем направлении: с помощью комбинированной обработки поверхностному слою будет придаваться особые физико-механические свойства.

Во время исследований планируется установить расчетные зависимости шероховатости поверхности, износостойкости, коррозионной стойкости поверхностного слоя от технологических условий при комбинированной обработке. Планируется разработать алгоритм

назначения режимов при комбинированной обработке, условием оптимизации которых является качество поверхностного слоя, и установить взаимосвязь технологических параметров с параметрами поверхностного слоя.

Для проведения поискового исследования процесса отделочно-упрочняющей обработки были использованы медицинские мелкокоразмерные детали кардиостимуляторов сложного профиля из нержавеющей стали 12Х18Н9Т.

Процесс снятия заусенцев на внутренних и закругления острых ребер на внешних поверхностях, а также шлифовки осуществляли на технологической вибрационной установке в торообразном контейнер. В неподвижный контейнер торовой формы загружали металлические наполнители определенной формы и размеров и водорастворяющиеся абразивные пасты с поверхностными активными веществами (ПАВ), а устройства с деформирующими элементами размещали обрабатываемые мелкокоразмерные детали. Процесс удаления заусенцев и шлифования наружных и внутренних поверхностей деталей осуществляют за счет импульсной деформационной действия рабочей среды, а также удаление загрязнений из зоны обработки жидкостными компаундами в виде паст или гелей. В качестве твердых наполнителей использовали металлические стержни с косыми торцами, а в качестве жидкостной среды – водосливающая абразивная паста с ПАВ. Для эффективного осуществления финишной обработки мелкокоразмерных деталей предложенный способ позволяет обеспечить равномерное и интенсивное перемешивание составляющих рабочей среды (деталей, чипсов и компаундов), предоставление отдельным элементам достаточного уровня кинетической энергии, создания необходимого перепада скоростей (зон торможения) составляющим рабочей среды при оптимальном соотношении массы обрабатываемых деталей и объема контейнера вибрационной установки. На винтообразном устройстве с деформирующими элементами размещали 40 ... 50 деталей кардиостимуляторов.

Процесс полирования и упрочнения поверхностного слоя после ВО провели в условиях переменного магнитного поля с использованием твердых наполнителей и жидкостной среды с ПАВ. В частности, в контейнер с внутренней поверхностью тороидальной формы загружали наполнитель в виде коротких игл и шариков малых диаметров, изготовленных из ферромагнитных материалов и обрабатываемые мелкокоразмерные детали. Процесс полирования и упрочнения поверхностей деталей происходит за счет импульсной взаимодействия и трения составляющих рабочей среды за счет вращения магнитов. Предоставление рабочей среде высокоэнергетического импульсного вихревого движения в трехмерном пространстве по тороиду создает благоприятные условия упруго-пластическому деформированию микронеровностей, удалению загрязнений жидкостными составляющими рабочей среды.

Исследования микрорельефа поверхности образцов проводили на оптическом профилометре Leica DCM3D в соответствии с международным стандартом ISO4287. Анализ формы отверстий (диаметр/объем) осуществляли с помощью прибора PJ H3000F, а оценку заусенцев в отверстиях деталей проводили на микроскопе Leica DFC 295-Z6 APO. Микротвердость поверхности образцов определяли с помощью цифрового тестера «FM800».

При проведении механической обработки на станках с числовым программным управлением мелкокоразмерных деталей сложной формы (с отверстиями 0.3...0.6 мм и толщиной 0.2...0.4 мм) образуются заусенцы на внутренних поверхнях, а на внешних – острые ребра. Учитывая сложность осуществления процессов отделочно-упрочняющей обработки как внешних, так и внутренних поверхностей мелкокоразмерных деталей на основе проведенного анализа были определены критерии оценки качества поверхностей (критерий наличия заусенцев (кз); критерий наличия острых ребер (кр); критерий шероховатости рабочей поверхности деталей кардиостимуляторов (kR); критерий износостойкости поверхности деталей кардиостимуляторов (кзн); критерий коррозионной стойкости поверхности деталей кардиостимуляторов (кк)) и разработан способ для отделочно-укрепляющей обработки как наружных, так внутренних поверхностей.

Результатами экспериментальных исследований установлено (рис. 1), что предложенный способ ВО обеспечивает снятие заусенцев (диаметр отверстия 0.595 мм, округлость 0.049) на внутренних и закругления острых ребер на наружных поверхностях деталей за счет импульсного деформационного воздействия волнообразного устройства с абразивными пастами по сравнению с исходным состоянием (диаметр отверстия 0.536 мм, округлость 0.097). Следующая МО путем импульсной взаимодействия и трения составляющих рабочей среды способствует упруго-пластическому деформированию микронеровностей поверхностей и удалению загрязнений из отверстий (диаметр отверстия 0.607 мм, округлость 0.041) жидкостной средой, отвечающий необходимым требованиям эксплуатации деталей кардиостимуляторов.

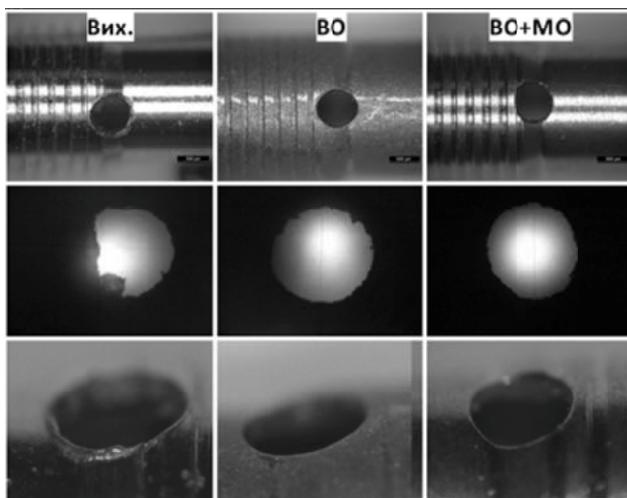


Рис. 1. Изменение величины заусенцев в отверстиях деталей кардиостимуляторов в исходном состоянии, после ВО и комбинированной ВО+МО.

Параметры профиля шероховатости (рис. 2 а) и волнистости (рис. 2 б) поверхностей деталей кардиостимуляторов после ВО и комбинированной ВО+МО уменьшаются по сравнению с исходным состоянием, в частности ВО (с помощью винтообразного устройства с деформирующими элементами) повлекла уменьшение параметра Ra профиля шероховатости в 3.5 раза на внешней и в 2.5 раза на внутренней поверхностях, а также на не-

значительную величину (~ на 25%) параметра  $W_a$  профиля волнистости как на внутренний, так и на внешней поверхностях деталей за счет упруго-пластического деформирования и микротравмированию абразивными пастами. А следующая МО обеспечила уменьшение параметра  $R_a$  профиля шероховатости в 6.5 раз на внешней и в 3.5 раза на внутренней поверхности, а также параметра  $W_a$  профиля волнистости примерно в 4 раза на внешней поверхности по сравнению с исходным состоянием за счет микросглаживания неровностей. Установлено, МЕ после ВО практически не приводит к улучшению параметров микрорельефа внутренней поверхности деталей кардиостимуляторов.

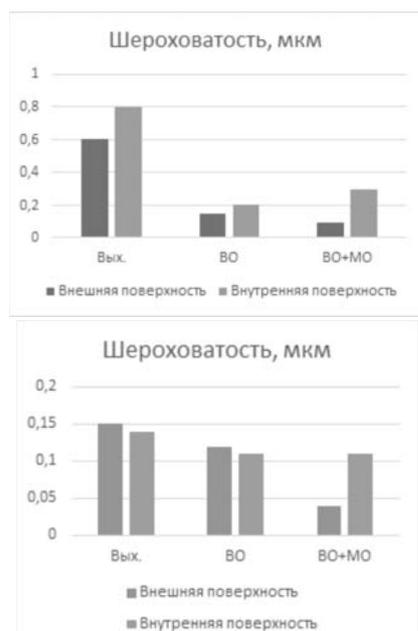


Рис. 2. Шероховатость (а) и волнистость (б) наружной и внутренней поверхности деталей кардиостимуляторов в исходном состоянии, после ВО и комбинированной ВО+МО

А следующее действие переменного магнитного поля повлекло уменьшение микротвердости поверхностного слоя деталей примерно на 5% в сравнении с ВО результате индуцированной переобработки обрабатываемой поверхности.

Экспериментально подтверждена возможность качественной обработки мелкоразмерных деталей комбинированным действием ВО и МО в контейнерах без жесткой кинематической связи между элементами системы установка-устройство-рабочая среда-обрабатываемая деталь. Предложенный способ комбинированной вибрационной и последующей магнитной обработки и определены факторы позволяют улучшить параметр шероховатости как на внешней ( $R_a = 0.09$  мкм), так и на внутренней ( $R_a = 0.31$  мкм) поверхностях, а также повысить твердость поверхности на 10...15% по сравнению с необработанной поверхностью.

Параллельно, с основной целью исследования, а именно разработкой технологического процесса обработки поверхностного слоя медицинских изделий, проводится исследования, связанные с повышением производительности станков ЭЗО. Хороший результат даст увеличение производительности станка, с внедрением элементов автоматизации и робототехники [20].

Автоматизация даст значительный эффект, ведь применение даже обычных станков с ЧПУ, позволяет снизить трудоемкость обработки изделий.

Повышение долговечности и надежности - одна из важнейших научных и народнохозяйственных проблем. Технологические методы являются наиболее эффективными в решении этой проблемы.

Объединение нескольких методов обработки: электроэрозионной с другими, позволит уменьшить влияние недостатков данного вида обработки и повысить эффективность. Метод ЭЗО будет комбинирован с специально подобранными методами для достижения намеченной цели - повышения качества поверхностного слоя медицинских изделий.

Внедрение и использование комбинированных методов обработки приведет к повышению, как производительности обработки, так и качества изделий. В результате исследования планируется провести промышленную апробацию нового метода обработки, запатентовать и внедрить этот технологический процесс в производственный цикл.

## Литература

1. Khafizov I.I., Nurullin I.G. Product quality as the main factor of increase of competitiveness (on the example of JSC «Kazan helicopter plant») // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol.240, Is.1. - Art. № 012039.
2. Бавыкин О.Б., Кривокубова Е.В. Автоматизация измерений параметров шероховатости поверхности // Инженерный вестник Дона, 2019, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5727](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5727).
3. Kiseleva, S. K., Zainullina, L. I., Abramova, M. M., Khazgalieva, A. A., Dudareva, N. Y., & Aleksandrov, I. V. (2017, 2017/04/01). Influence of the microstructure of Al-Si alloy on the surface-layer quality in microarc oxidation. Russian Engineering Research, 37(4), 314-317. <https://doi.org/10.3103/S1068798X17040141>
4. Kiryushin, I. E., Kiryushin, D. E., Venig, S. B., Nasad, T. G., Stepanova, M. O., & Terin, D. V. (2014, 2014/06/01). Surface-layer quality after high-speed turning of hard material. Russian Engineering Research, 34(6), 423-424. <https://doi.org/10.3103/S1068798X14060112>
5. Meshcheryakova, I. V., Parvez, A., & Shalamova, I. V. (1992, 1992/07/01). Effect of underglaze layer on the quality of the surface of glazed ceramic wares. Glass and Ceramics, 49(7), 326-329. <https://doi.org/10.1007/BF00677451>
6. Петряева И.А. Повышение качества обработки деталей машин с использованием комбинированных методов обработки: дис. ... магистра. Донецк: ДонНТУ, 2007.
7. Бардинова С.Н. Исследование качества поверхностного слоя при дробеструйной обработке в ремонтном производстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.12.13. Рыбинск, 2013. - 16с.
8. Kiryushin, I. E. (2012, 2012/07/01). Quality of surface layer after high-speed cutting. Russian Engineering Research, 32(7), 597-598. <https://doi.org/10.3103/S1068798X12060111>
9. Губарева Ю.Н. Новые конструкции и технологии изготовления напильников на основе применения твердых покрытий // Инженерный вестник Дона, 2013, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1527](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1527).
10. El-Wardany, T.I., Kishawy, H.A., and Elbestawi, M.A., Surface Integrity of Die Material in High Speed Hard Machining, J. Manuf. Sci. Eng., 2000, no. 4, pp. 620-631.

11. Хейфец М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.: ил.

12. Gasanov, Y. N. (2001, 2001/01/01). Effect of the Quality and Accuracy of Machining on the Wear Resistance of the Surface Layer. *Chemical and Petroleum Engineering*, 37(1), 110-113. <https://doi.org/10.1023/A:1017555430433>

13. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1982. - 400 с.

14. Черемных А.С. Исследование качественных параметров твердосплавных пластинок после процесса комбинированной электроалмазной обработки: дис. ... магистра. Братск: БГУ, 2007.

15. Pistun, I. P., & Kuslitskii, A. B. (1977, 1977/09/01). Effect of surface layer quality on the low-cycle endurance of structural steels in working environments. *Strength of Materials*, 9(9), 1084-1087. <https://doi.org/10.1007/BF01528586>

16. Dianov D.V., Suglobov A.E., Kuznetsova E.I., Rusavskaya A.V., Minakov A.V. Statistical toolkit for assessing the financial security of regions // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. 2018. T. 7. № 3.15. С. 230-232.

17. Rutman, P. A., Pertsov, N. V., & Lobantsova, V. S. (1981, 1981/01/01). An accelerated method of inspecting the surface-layer quality of parts during machining. *Soviet materials science : a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov / Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 17(1), 91-93. <https://doi.org/10.1007/BF01528586>

18. Оглезнев Н.Д. Современное состояние и перспективы развития электроэрозионной обработки // *Известия Самарского центра РАН*, 2014. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroerozionnoy-obrabotki](http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroerozionnoy-obrabotki).

19. Нуруллин И.Г., Хафизов И.И., Садыков З.Б. Применение метода электроэрозионной обработки для повышения качества обработанной поверхности // *Материалы IX Международной научно-технической конференции «ИМТОМ–2018»*. Ч. 1. – Казань, 2018. – 432 с

20. Kashapov N.F., Khafizov I.I., Nurullin I.G. Influence of introduction of robotics on increase in efficiency of electrochemical production // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2018. - Vol.412, Is.1. - Art. № 012034.

#### Improving the quality of the surface layer of medical devices by combining treatment methods

Hafizov I.I., Nurullin I.G.

Kazan (Volga) Federal University

The article is devoted to improving the quality of the surface layer of medical devices. In the course of the work, the analysis of the degree of development of the topic and the impact of the use of combined processing on improving the quality of the surface layer was carried out. Advantages and disadvantages of electroerosion treatment are considered. It is concluded that combined processing, which combines electroerosive and other specially selected processing methods, can significantly improve the quality and resource of products by creating surfaces with predetermined stable properties. The paper uses a method of modeling and structuring the possibilities of forming the processing of medical materials. The authors show that the dynamics of determining the structural features of material processing are based on the principles of lean production and economically this structure is identified as additional to achieve quality features. The practical significance of the research is determined by the dynamic indicators of the formation of structural features of materials science.

**Keywords:** quality, electrical discharge machining, the surface layer of the medical device, combination, performance, roughness.

#### References

1. Khafizov I.I., Nurullin I.G. Product quality as the main factor of increase of competitiveness (on the example of JSC "Kazan helicopter plant") // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2017. -- Vol. 240, Is. 1. - Art. No. 012039.
2. Bavykin O. B., Krivozubova E. V. Automation of measurements of surface roughness parameters // *Engineering Bulletin of the Don*, 2019, No. 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5727](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5727).
3. Kiseleva, S. K., Zainullina, L. I., Abramova, M. M., Khazgalieva, A. A., Dudareva, N. Y., & Aleksandrov, I. V. (2017, 2017/04/01). Influence of the microstructure of Al – Si alloy on the surface-layer quality in microarc oxidation. *Russian Engineering Research*, 37 (4), 314-317. <https://doi.org/10.3103/S1068798X17040141>
4. Kiryushin, I. E., Kiryushin, D. E., Venig, S. B., Nasad, T. G., Stepanova, M. O., & Terin, D. V. (2014, 2014/06/01). Surface-layer quality after high-speed turning of hard material. *Russian Engineering Research*, 34 (6), 423-424. <https://doi.org/10.3103/S1068798X14060112>
5. Meshcheryakova, I. V., Parvez, A., & Shalamova, I. V. (1992, 1992/07/01). Effect of underglaze layer on the quality of the surface of glazed ceramic wares. *Glass and Ceramics*, 49 (7), 326-329. <https://doi.org/10.1007/BF00677451>
6. Petryaeva I.A. Improving the quality of processing of machine parts using combined processing methods: dis. ... of the master. Donetsk: DonNTU, 2007.
7. Bardinova S.N. The study of the quality of the surface layer during shot blasting in the repair industry: abstract. dis. ... cand. tech. Sciences: 12.25.13. Rybinsk, 2013. -- 16 p.
8. Kiryushin, I. E. (2012, 2012/07/01). Quality of surface layer after high-speed cutting. *Russian Engineering Research*, 32 (7), 597-598. <https://doi.org/10.3103/S1068798X12060111>
9. Gubareva Yu.N. New designs and manufacturing techniques for files based on the use of hard coatings // *Engineering Bulletin of the Don*, 2013, No. 1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1527](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1527).
10. El-Wardany, T.I., Kishawy, H.A., and Elbestawi, M.A., Surface Integrity of Die Material in High Speed Hard Machining, *J. Manuf. Sci. Eng.*, 2000, no. 4, pp. 620-631.
11. Kheifets M.L. Design of combined processing processes. - M.: Mechanical Engineering, 2005. -- 272 p.: Ill.
12. Gasanov, Y. N. (2001, 2001/01/01). Effect of the Quality and Accuracy of Machining on the Wear Resistance of the Surface Layer. *Chemical and Petroleum Engineering*, 37 (1), 110-113. <https://doi.org/10.1023/A:1017555430433>
13. Popilov L.Ya. Electrophysical and electrochemical processing of materials: Reference. - M.: Mechanical Engineering, 1982. - 400 p.
14. Cheremnykh A.S. The study of the quality parameters of carbide plates after the process of combined electro-diamond processing: dis. ... of the master. Bratsk: BSU, 2007.
15. Pistun, I. P., & Kuslitskii, A. B. (1977, 1977/09/01). Effect of surface layer quality on the low-cycle endurance of structural steels in working environments. *Strength of Materials*, 9 (9), 1084-1087. <https://doi.org/10.1007/BF01528586>
16. Dianov D.V., Suglobov A.E., Kuznetsova E.I., Rusavskaya A.V., Minakov A.V. Statistical toolkit for assessing the financial security of regions // *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018.Vol. 7. No. 3.15. С. 230-232.
17. Rutman, P. A., Pertsov, N. V., & Lobantsova, V. S. (1981, 1981/01/01). An accelerated method of inspecting the surface-layer quality of parts during machining. *Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov / Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 17 (1), 91-93.
18. Ogleznev N.D. Current state and prospects of development of electric discharge machining // *Bulletin of the Samara Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroerozionnoy-obrabotki](http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroerozionnoy-obrabotki).
19. Nurullin I.G., Khafizov I.I., Sadykov Z.B. Application of the EDM method to improve the quality of the processed surface // *Materials of the IX International Scientific and Technical Conference "IMTOM-2018"*. Part 1. - Kazan, 2018. -- 432 s.
20. Kashapov N.F., Khafizov I.I., Nurullin I.G. Influence of introduction of robotics on increase in efficiency of electrochemical production // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2018. -- Vol. 412, Is. 1. - Art. No. 012034.