

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия архитектуры
и строительных наук
Ассоциация строительных вузов
Правительство Белгородской области
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

**Международная научно-практическая
конференция, посвященная 65-летию
БГТУ им. В.Г. Шухова**

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ИННОВАЦИИ
(XXIII научные чтения)**



**Сборник докладов
Часть 12**

**29 апреля
Белгород 2019**

УДК 001.2
ББК 72+65.291
М 43

Наукоемкие технологии и инновации: эл. сб. докладов
М 43 Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2019.
– Ч. 12. – 56 с.

ISBN 978-5-361-00698-4

В сборнике представлены результаты исследований, направленных на совершенствование и разработку новых инновационных технологий и оборудования в машиностроении.

Материалы сборника предназначены для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и производственных организаций и могут быть полезны для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, доц. Т.А. Дуюн,
д-р техн. наук, проф. Л.А. Рыбак.

УДК 001.2
ББК 72+65.291

ISBN 978-5-361-00698-4

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Архипова Н.А., Найда А.С., Тищенко М.В. Технологии с использованием ультразвука в машиностроении	4
Архипова Н.А., Тищенко М. В., Найда А.С. Новые технологии электрохимической обработки	9
Боровская О.Ю., Саенко А.А. Инженерная графика «как азбука конструирования»	15
Довгалев А. М. Технология совмещенного магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде	19
Довгалев А.М., Сухоцкий С.А., Свирепа Д.М. Технология совмещенного магнитно-динамического накатывания плоских поверхностей	22
Дуюн Т.А., Баранов Д.С., Ерыгин Е.В. Прогнозирование шероховатости поверхности при тчении с использованием нейронных сетей	26
Луцко Т. В. Обоснование выбора автогидроподъемников при расширении их технологических возможностей	31
Маслова И.В. Использование параметрических зависимостей в чертежах деталей при формировании конструкторско-технологической документации	36
Огнев О.Г., Огнев И.Г., Банных С.А. Восстановление коленчатых валов правкой местным неравномерным нагревом ТВЧ и охлаждением.....	40
Соловьев В.В., Салтыков А.С., Красикова М.С., Ткаченко И.К. Исследование процесса работоспособности смазочно-охлаждающей жидкости в условиях её промышленного применения.....	45
Соловьев В.В., Червочкин М.А., Кузнецова Е.Д., Головков А.Е. Разработка технологии получения биокомпонента для нефтяного дизельного топлива на основе альтернативного углеводородного источника сырья.....	50

ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Архипова Н.А., доцент,

Найда А.С.,

Тищенко М.В.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Использование ультразвука в машиностроении является перспективным направлением. Ультразвук применим во многих направлениях, как средство обработки, так и средство контроля сплошности материала. Ультразвук широко используется в производстве трубопроводов, для контроля сварных соединений, гибов труб и расточенных кромок. Возможности ультразвука очень широки и всё больше машиностроительных предприятий прибегают к его использованию.

Ключевые слова: ультразвук, дефектоскопия, ультразвуковые волны, ультразвуковая обработка.

При помощи оборудования имеется возможность создания ультразвуковых волн и инфразвуковых колебаний. И те и другие колебания полностью безвредны для восприятия человеком, но в промышленности они находят широкое применение и подходят для работы с различными металлами – и с хрупкими и с твердыми. Сердцем станка является специальный преобразователь, который превращает электрический ток в высокочастотные колебания. Происходит это за счет движения тока по обмотке и создания переменного магнитного поля, которое колеблет преобразователь. Из колеблющегося преобразователя и исходит ультразвук. Также используются специальные преобразователи, которые способны изменять амплитуды большого колебания в амплитуды малые и наоборот. К торцу волновода крепится приспособление необходимой формы, обычно форма приспособления совпадает с формой необходимого отверстия.

Подобные станки чаще всего используют для изготовления матриц и их повторной обработки, а также для выполненных из феррита ячеек памяти для различных микросхем и полупроводниковых приборов. Это далеко не весь спектр работ, производимых с помощью ультразвука. Еще возможны работы по сварке, мойке, очистке и контролю измерений. Причем вся работа, производимая оборудованием на ультразвуке, эффективна и качественна.

Данная технология является одной из разновидностей технологии долбления. Ультразвук позволяет снять поверхностный слой с заготовки путем образования выколов и трещин, которые возникают под действием нагрузки.

Ультразвуковая обработка появилась из-за невозможности воздействовать на материалы непроводящего и непрозрачного типа привычным механическим методом. Ультразвук способен справиться с любыми материалами.

Среди преимуществ данной технологии можно выделить такие:

1. Универсальность – подойдет для обработки любых металлов.
2. Возможность работы с хрупкими материалами, такими как стекло, гипс, камни и материалы на основе алебаstra, а также для работы с алмазами.
3. По окончании работы нет остаточного напряжения, то есть возможность появления трещин на поверхности сведена к минимуму.
4. Низкий уровень шума в процессе работы.
5. Долговечность оборудования.

Суть процесса сводится к тому, что в рабочий сектор оборудования вливается абразивное вещество. Рабочий сектор – пространство между заготовкой и вибрирующим торцом инструмента. От колебания абразивные зерна бьются об поверхность металла, что способствует повреждению верхнего слоя. В качестве абразивного материала могут быть использованы такие вещества, как элементы кремния и бора на основе карбида. При ультразвуковой обработке используется и жидкость – для подачи абразива. В качестве жидкости всегда применяется вода.

Такая установка обеспечивает высокое качество работ, так как рабочий инструмент, который и образует вибрацию, выполнен из вязких компонентов, что способствует его малому износу в процессе работы. Кроме того, режущий инструмент не чувствителен к воздействию нагрузок ударного типа. В качестве оборудования применяются специальные станки, которые являются универсальными ультразвуковыми агрегатами и могут быть использованы для промышленности и небольших предприятий.

Ультразвуковая обработка поверхности металла состоит из нескольких процессов. Основным из них является внедрение абразивного материала и воздействие его на заготовку. Второй процесс – постоянная циркуляция и замена абразива для качественной обработки изделия. Чтобы технология была максимально эффективной,

необходимо тщательное выполнение обоих процессов, так как нарушение любого из них приведет к снижению производительности.

Несмотря на то, что процесс ультразвуковой обработки металла распространился еще в 60-е годы прошлого века, она по сей день считается новым методом качественной обработки заготовок. Такой метод позволяет существенно упростить весь технологический процесс производства любых изделий – из твердого или хрупкого материала. Технология позволяет работать с деталями и заготовками любых размеров и конфигураций.

Однако ультразвуковая технология обработки металла имеет и один недостаток – при таком воздействии снижается производительность показателей при росте толщины слоя, который снимается с заготовки.

Ультразвуковой метод обработки относится к электрофизическому воздействию на материал, частота воздействий соответствует диапазону 16—105кГц, что является неслышимым для человеческого уха. Ультразвуковая волна, при распространении в материальной среде, переносит энергию, которая используется в технологических процессах либо преобразовывается в тепловую, химическую, механическую энергию.

Энергия ультразвуковых волн во много раз больше, чем энергия переносимая слышимыми звуками. При этом ультразвуковые колебания сопровождаются рядом эффектов, которые используются в качестве базовых для разработки различных процессов.

Энергия ультразвуковых волн применяется как для механической обработки материалов, так и для удаления поверхностных пленок и т.д.

На рис. 1 показана схема ультразвуковой установки для механической обработки заготовок с помощью инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой.

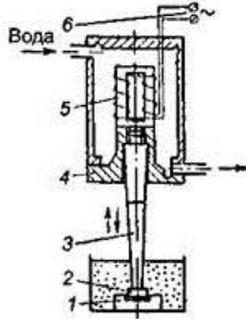


Рисунок 1 - Схема ультразвуковой установки для механической обработки заготовок: 1-заготовка; 2-инструмент; 3-акустический концентратор; 4-вибрирующая головка; 5-магнитострикционный преобразователь (вибратор); 6-генератор ультразвуковых частот.

Обрабатываемая поверхность покрывается жидкостью с находящимся во взвешенном состоянии абразивом. Во взвесь вводится инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой (16—30 кГц) и небольшой (0,1—0,06 мм) амплитудой. Осуществляется обработка в результате ударов инструмента по частицам абразива, оседающим на обрабатываемой поверхности. Посредством соударениям и происходит обработка резанием: абразив «выкалывает» мельчайшие частицы материала заготовки, а инструмент постепенно внедряется вглубь. В этом случае профиль инструмента идентичен профилю отверстия. Сообщая высокочастотные ультразвуковые колебания и изменяя их интенсивность, спектральный состав, можно менять механические свойства материала, воздействуя на структуру материала.

Стабильные эмульсии достигаются за счет энергии ультразвуковых волн, которые не расслаиваются с течением времени. Ультразвук применяется для получения однородных горючих смесей, сушки различных материалов, очистки потоков воздуха и сточных вод от загрязняющих примесей, очистки металлических изделий от накипи и загрязняющих веществ, дегазации жидкостей.

Известен метод холодной ультразвуковой сварки, который позволяет соединять детали при температурах значительно ниже температуры плавления. Ультразвуковая сварка не изменяет свойств и структуры материалов. Успешно используется при сварке алюминиевых деталей и стали, является одним из основных способов соединения пластмассовых изделий.

С помощью ультразвука работают многочисленные контрольно-измерительные приборы. В исследованиях ультразвук используется для выявления внутренних дефектов в металлах, определения концентрации различных веществ, постоянного контроля изменения их плотности и температуры.

В последние годы в медицине активно используется ультразвук. Медицинские ультразвуковые диагностические приборы, реализующие известный принцип локализации ультразвука, позволяют "заглянуть" внутрь организма человека. При этом во многих случаях информативность исследования значительно выше, чем при использовании рентгеновских лучей, и к тому же ультразвуковое обследование абсолютно безопасно.

Таким образом, благодаря применению ультразвука открываются новые способы обработки материалов, увеличивается интенсивность и повышается эффективность протекания различных процессов, открываются новые методы диагностики и лечения в медицине и др.

Список литературы:

1. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.
2. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, С.С. Хмелев; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 281 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Архипова Н.А., доцент,
Тищенко М.В.,
Найда А.С.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Целью статьи является раскрытие особенностей и преимуществ новых технологий электрохимической обработки. Рассматриваются новые виды электрохимической обработки металлов, раскрывается вопрос эффективности и целесообразности применения новых технологий. В данной статье представлены основные преимущества данного вида обработки, необходимость перехода всех существующих машиностроительных предприятий к использованию и совершенствованию технологий электрохимической обработки.

Ключевые слова: обработка, технологии, электролиз, электролит, точность, износ, концентрация.

Одним из перспективных видов обработки является электролиз. Это реакция, при которой ионы, полученные от растворенного вещества, перемещаются к катоду и аноду в зависимости от заряда. Продукты произошедшей в результате этого реакции либо оседают на электродах, либо превращаются в раствор.

При помощи электролиза изготавливают рельефные слепки различных изделий из металла, а также декоративные покрытия для различных деталей, получают металлы из воды и руд. Новая технология обработки металла используется на производствах хлора.

Благодаря технологии с использованием электролиза можно без больших затрат времени организовывать производство деталей любой формы и сложности, изготавливать пазы в деталях и разрезать уже имеющиеся заготовки. Существуют различные станки, которые применяют данный метод обработки. Главным преимуществом этого оборудования является возможность обработки любого металла, а также не изнашиваемость катода в процессе работы.

Технология электрохимической обработки широко используются при обработке токопроводящих сталей и сплавов. Сущность этой технологии заключается в том, что в процессе электролиза обрабатываемая поверхность выполняет роль анода и частицы

поверхности материала под действием электрического тока растворяются и переходят в раствор электролита.

Если в процессе обработки легированной стали в качестве электролита используется водный раствор нитрата натрия (NaNO_3) то легирующие добавки переходят в раствор в виде ионов, а ионы Fe, Ni, Ti превращаются в нерастворимые гидроксиды и осаждаются в виде шлама.

Проблемный аспект этой технологии – ионы шестивалентного хрома, которые не образуют нерастворимых соединений, и вследствие этого накапливаются в растворе электролита. Исходя из этого, необходимы дополнительные меры, направленные на снижение концентрации соединений хрома (VI). Превышение предельно допустимых санитарными нормами концентраций хроматов оказывает пагубное воздействие на здоровье человека. Все соединения шестивалентного хрома очень токсичны и обладают канцерогенными эффектами, поэтому необходимо тщательно контролировать их содержание в рабочей зоне, а загрязненный шлам своевременно отправлять на утилизацию.

В станках проблема хроматов решается следующим образом: автоматические контрольные системы поддерживают в растворе электролита концентрацию ионов хрома (VI) в пределах заданной концентрации, чтобы воздействие их на оператора находилось в пределах ПДК. Таким же образом регулируется содержание хроматов в шламе, который направляется на обезвреживание отходов.

К комбинированным методам обработки относятся электроэрозионно-химический и электрохимический - ультразвуковой.

Электроэрозионно-химический метод обработки основан на одновременном протекании процессов анодного растворения и эрозийного разрушения металла и удалении продуктов реакции из рабочей зоны потоком электролита. При прошивочных операциях скорость подачи катода достигает 50-60 мм/мин для стали, 20- 30 мм/мин для жаропрочных сплавов и 10 мм/мин для твердых сплавов. При этом износ катода-инструмента не превышает 2,5%; точность обработки 0,1-0,4 мм (по экспериментальным данным).

Этот метод может быть использован также для круглого, плоского и профильного шлифования, разрезания заготовок из труднообрабатываемых материалов. При разрезании заготовок из нержавеющей стали производительность составляет 550-800 мм/мин; износ инструмента при этом достигает 4-5%; точность обработки 0,1-0,3

мм. Станки для этого метода обработки в настоящее время не выпускаются.

Электрохимический способ обработки основан на разрушении металла путем одновременного анодного растворения его и воздействия ультразвуковых колебаний. Этот способ применяется для обработки твердосплавных вытяжных штампов.

Электрохимическая обработка имеет ряд преимуществ при сравнении с другими видами обработки:

- Изделие сложной формы производится в течение одной операции с требуемой точностью и достаточно высоким качеством обработанных поверхностей.
- Отсутствует износ инструмента.
- В результате отсутствия заусенцев и острых кромок на деталях слесарная обработка не требуется.
- Конструкция деталей и физические характеристики изделий не оказывают влияния на качество обработки.
- Деталь, используемая в качестве электрода, может быть изготовлена из достаточно дешевых и легких в обработке материалов типа латуни или различных марок коррозионностойкой стали.

В сравнении с традиционными технологиями электрохимической обработки, новое оборудование имеет множество ценных преимуществ:

- Повышение точности обработки до показателей повторяемости (2 микрона), разрешающей способности при копировании (0,5-3 микрона).
- Увеличение качества обработки поверхности до показателей Ra 0,01; повышение качества углеродистых сталей на микроскопическом уровне.
- Возможность прогнозировать и управлять всем процессом электрохимической обработки.
- Простота конструкции оборудования при сохранении требуемых технологических параметров.
- Высокоэффективная защита от коротких замыканий.

Новейшие технологии электрохимической обработки имеют технологические преимущества, в сравнении с традиционными методами изготовления штамповой оснастки, готовых штампов, матриц, пуансонов, такими как:

- Наиболее распространенный теплофизический метод формообразования – электроэрозионная (электроискровая) обработка на эрозионных станках, электроискровых станках и электроэрозионных копировально-прошивочных станках.

- Метод лазерной обработки и лазерной резки.
- Использование фрезерно-гравировальных станков.
- Использование многокоординатных скоростных обрабатывающих центров с ЧПУ.

Анодное подключение изделия выполняют при таких операциях:

- Травление. Очистка перед покраской, сборкой, оклеиванием, сваркой.
- Прошивка отверстий, резка листового материала с высокой точностью;
- Обработка по размеру, копирование согласно образцу на электроде.

Комбинируя анодный (растворение) и катодный (напыление) методы обработки, получают высокотехнологические изделия для различных отраслей.

Электроэрозионное оборудование имеет скорость процесса снятия слоя материала ниже, чем у механического оборудования. Достоинство метода заключается в том, что конечный результат по сложности, выдержке формы, сравним с работой 5 фрезерных станков с ЧПУ.

Величина производительности определяется, как объем снятого материала (мм^3) за единицу времени (мин) при подведенном токе в 1 А. Все составы электролитов имеют свои показатели. Хлористый натрий, например, имеет значение $2,2 \text{ мм}^3/\text{мин}$, азотнокислый натрий – $1,1 \text{ мм}^3/\text{мин}$. Использование комбинированных составов из нескольких реагентов уменьшает время растворения анода, повышает технологичность обработки.

Одним из сдерживающих факторов более широкого применения ЭХО является не изученность особенностей анодной обработки новых многокомпонентных по составу материалов и небольшое количество исследований, посвященных влиянию химического состава обрабатываемого материала на процесс обработки. Большой интерес вызывает проблема увеличения точности ЭХРО, которая зависит от многих технологических и физико-химических параметров, которые изменяются в процессе работы. Большинство из них (свойства раствора электролита, локальные значения плотности тока и выхода по току и др.) не поддаются контролю и управлению.

Следовательно, задача повышения точности обработки связана со стабилизацией основных технологических параметров процесса, моделированием процесса формообразования и проектированием надежных систем, обеспечивающих компенсацию изменений свойств

электролитов и других параметров в ходе процесса электролиза. Невозможно также считать полностью закрытой проблему качества обработанной поверхности. Известно, что с повышением плотности тока шероховатость получаемой поверхности уменьшается. Это объясняется тем, что при увеличении плотности тока скорости «растворения различных структурных составляющих становятся примерно равными. Общий анализ зависимости шероховатости от локальных условий обработки показал, что качество поверхности уменьшается с уменьшением величины межэлектродного зазора (МЭЗ), повышением скорости подачи электрода-инструмента (ЭИ), уменьшением рабочего напряжения и электропроводности электролита. Разрабатываемые технологические предложения должны быть экологически более рациональными, требовать меньшего количества технологических операций, применять менее агрессивные и более простые химические реагенты и быть экономически более целесообразными. Наиболее распространённые реагентные методы снижения токсичности электролитов имеют различные недостатки, связанные с необходимостью изменения pH среды, токсичностью реагента, поэтому на сегодняшний день проблема удаления хромат-ионов, не ухудшая при этом выходные технологические показатели процесса (производительность, точность, качество).

Пока еще нет обоснованных рекомендаций по подбору электролитов, позволяющих уменьшать массу выделяющегося при ЭХРО шлама. Поэтому изыскание режимов ЭХО, • обеспечивающих снижения шламообразования, является актуальной задачей, а решение вопроса утилизации шлама путем извлечения чистых, дорогостоящих металлов позволило бы решить не только экологическую, но и ресурсную задачи.

В связи с появлением высокотехнологичных отраслей промышленности (точного приборостроения, медицины и медицинской техники, авиадвигателестроения и др.) новых групп высокопрочных и твердых материалов(в том числе наноструктурированных), усложнением формы деталей и ужесточением требований к качеству поверхностного слоя, возникла потребность в новых технологиях электрофизической и электрохимической обработки.

Реакцией на этот запрос технического прогресса явилось появление в 1998—2011 годах целого комплекса новых способов импульсной электрохимической обработки вибрирующим ЭИ и оригинальной микросекундной биполярной электрохимической обработки (ЕТ-технологии). Особенность последней состоит в том, что она

осуществляется на сверхмалых (3...10 мкм) межэлектродных зазорах (МЭЗ) с использованием групп микросекундных биполярных импульсов тока высокой плотности (порядка $10^2...10^4$ А/см²), специальным образом синхронизированных с осциллирующими электрод-инструментами.

При их реализации становится достижимым обеспечение малых погрешностей (0,001..0,005 мм) обработки, создание на поверхностях деталей регулярных макро- и микрорельефов с в микронном и субмикронном диапазоне, и получение оптически гладких поверхностей (Ra 0,1..0,01 мкм). И все это при существенно более высокой (в сравнении с конкурирующим технологиями) производительностью на финишных операциях.

Новые способы микросекундной электрохимической обработки защищены десятками патентов и составляют основу оригинальной электрохимической технологии и оборудования (станки серии «ЕТ»), разработанных и созданных авторским коллективом Уфимских инженеров и ученых и серийно выпускаемых ООО «ЕСМ».

Список литературы:

1. Бiryюков, Б.Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. / Б.Н. Бiryюков - М.: Машиностроение, 1981.
2. Современные проблемы электрохимии. - М.: Мир, 2000. - 452 с.
3. Тютюнник, А.В. Информационные технологии в банке / А.В. Тютюнник, А.С. Шевелев. - М.: БДЦ-пресс, 2003. - 368 с.
4. Харитонов, С.А. Информационные технологии налогового учета / С.А. Харитонов. - М.: 1С Пабблишинг, 2003. - 182 с.
5. Учеб. пособие / Т.Р. Абляз, А.М. Ханов, О.Г. Хурматуллин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 121 с.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА «КАК АЗБУКА КОНСТРУИРОВАНИЯ»

**Боровская О.Ю., ст. преподаватель,
Саенко А.А., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Актуальность выбранной нами темы обусловлена необходимостью знания инженерной графики. Инженерная графика представлена двумя компонентами: областью графического документирования и областью геометрического моделирования. В данной статье рассмотрены возможности современных графических пакетов, а также их применение в науке и промышленности.

Ключевые слова: инженерная графика, чертеж, графический пакет, трехмерное проектирование, конструирование, 3D модели, машиностроение, сквозное проектирование.

Создание новых инновационных технологий, а также оборудования в машиностроении немислимо без проекционных изображений. Инженерная графика непосредственно выступает фундаментом, на котором основываются все технические проекты, как науки, так и техники, она дает возможность инженеру выполнять конструкторскую работу, изучать техническую литературу, насыщенную чертежами.

Именно инженерная графика подготавливает к конструированию графических моделей и реально существующих трехмерных пространственных форм, которые окружают в повседневной практической деятельности человека, она включает в себя элементы начертательной геометрии, среди которых - теоретические основы построения чертежей геометрических фигур; а также элементы технического черчения, среди которых - составление чертежей изделий; и машинной графики. В процессе создания инновационных технологий, и оборудования необходимо знание «азбуки конструирования» и, в первую очередь, инженерной графики. Полученные в результате изучения инженерной графики умения, знания и навыки, будут необходимы инженеру для изложения с помощью чертежа его технической мысли, а также для понимания по чертежу конструкции и принципа действия изображенного изделия.

На современном этапе развития технологий следует разделять инженерную графику на две составляющие, такие как область геометрического моделирования, область графического

документирования. Область геометрического моделирования основывается на алгебраической, аналитической, дифференциальной, начертательной геометрии, она является началом пути по созданию модели детали. Без четкого понимания способов образования простых тел (конус, куб, цилиндр) и иных сложных поверхностей (параболоид и гиперболоид) не представляется возможным создание 3D модели детали (как простой, так и состоящей из большого количества сложных форм (такой, как, корпусной детали).

Современная конструкторская деятельность в процессе развития компьютерных технологий значительно изменилась. Вся соответствующая документация теперь стала выполняться на компьютере с помощью специальных графических систем, среди которых AutoCad, SolidWorks, Компас 3D, Inventor, Catia, Paint3D, Microsoft Visio, Lego Digital Designer, использование которых позволяет не только проектировать, а также редактировать чертежи, но и делает возможным создание трехмерных (3D) моделей деталей и сборочных единиц, а также сложнейших готовых изделий, таких как, самолеты. В основу концепции современных систем автоматизированного проектирования ложится создание 3D модели детали, и далее возможность, с помощью средств графического пакета, автоматического получения чертежа, а также дальнейшее составление в электронном виде конструкторской документации. В настоящее время существует большое количество приложений для графических пакетов, которые дают возможность производить всевозможные инженерные расчеты на проектируемые детали, сборочные единицы.

3D моделирование представляет собой процесс создания виртуальных объемных моделей различных объектов, который максимально точно позволяет представить форму и размер, а также текстуру объекта, оценить эргономику и внешний вид изделия. Оно является отличным инструментом для строительных организаций, ювелирных мастерских, студий дизайна интерьера, промышленных предприятий, которые готовят к производству новые изделия.

В настоящее время, трехмерная графика активно применяется для создания: различных изображений на плоскости экрана; листа печатной продукции в промышленности и в науке, например, в системах архитектурной визуализации, автоматизации проектных работ, в современных системах медицинской визуализации.

Преимуществами для решения задач промышленного предприятия использования 3D моделирования являются: довольно быстрая

разработка новых изделий; сокращение затрат на изготовление тех или иных изделий; простота использования готовых изделий.

Так, в настоящее время, 3D-инструменты имеют весьма широкое применение в машиностроении, они используются на стадиях, как создания, так и реализации изделия: при конструировании, дизайне, производстве, а также маркетинге.

Наблюдается переход к сквозному проектированию, а именно: когда деталь создается конструкторами и обрабатывается технологами, далее она передается в производство и в итоге выпускается готовый продукт.

Сквозное проектирование подразумевает то, что на всех этапах изделия представлены в цифровом виде.

При трехмерном проектировании кроме изображения графически передаются также параметры, материалы, точность посадки, крепление или сварка. Все детали имеют физические свойства, и это еще на стадии конструирования позволяет создавать, а также анализировать технические характеристики изделия.

Так, если в конструкции были допущены ошибки, неточности, то 3D-модель это отразит. Таким образом, любые испытания: динамические, статические, или же crash-системы могут быть пройдены виртуально, что в свою очередь, позволяет экономить предприятию время и деньги.

На сегодняшний момент большое количество российских компаний начинает внедрять компоновку изделия в трехмерном моделировании, позволяя тем самым в дальнейшем устранить огромное количество ошибок, которые могут возникнуть у конструкторов.

Все, что создавалось на компьютере, в отличие от бумажных чертежей, весьма легко сохранить и далее использовать в будущем. Огромная электронная база чертежей дает возможность инженерам во много раз быстрее, используя существующие разработки, создавать новые продукты. Таким образом, в настоящее время трехмерное проектирование выступает основой инженерной деятельности, и чертеж перестает быть необходимым компонентом той или иной документации.

Развитие новых технологий все время предъявляют к современному инженеру-конструктору более жесткие требования. Остались уже давно в прошлом те времена, когда все конструкторские чертежи, расчеты и документы выполнялись вручную, и когда основными инструментами проектировщика выступали карандаш и кульман. За последние два десятилетия информационные технологии в корне изменили принципы конструирования, они позволили ускорить

процесс разработки изделия, повысить в десятки раз его точность и надежность.

Таким образом, знание «азбуки конструирования» является необходимым всем, равно как и умение, правильно писать и говорить. Ее основам обучают в фундаментальной науке «Инженерная графика», которая непосредственно является одной из основных составляющих инженерно-технического образования. Вне зависимости от способа выполнения чертежа (ручного механизированного или же автоматизированного) знание инженерной графики выступает фундаментом, на котором и основывается инженерное образование, и творчество, система создания технической документации.

Список литературы:

1. Александрова Е.П., Горошева Т.В., Лалетин В.А., Столбова И.Д. Компьютерная технология обучения инженерной графике и основам проектирования // Труды конференции «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе». - Ялта-Гурзуф, 2001. С. 240 - 243.
2. Горшков Г.Ф. Графические основы геометрического моделирования: учеб. пособие. М.: МИРЭА, 2009. 154 с.
3. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 376 с.
4. Левицкий В.С. Машиностроительное черчение: учебник для студентов вузов. - М.: Высшая школа, 1988. 352 с.
5. Маслов К. Ю., Похорукова М. Ю. 3D моделирование в промышленной сфере // Молодой ученый. - 2016. - №11.3. - С. 19-22. - URL <https://moluch.ru/archive/115/31349/> (дата обращения: 25.03.2019).
6. Покровская М.В. Инженерная графика: панорамный взгляд (научно-педагогическое исследование. - М.: Изд-во «Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов», 1999. 137 с.
7. Половинкин А.И., Бобков Н.К., Буш Г.Я. и другие. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании). М.: Радио и связь, 1981. 344 с.
8. Ярошевич О.В., Амельченко Н.А., Кулащик Н.Ф. Проблемы информатизации графической подготовки // Формирование творческой личности инженера в процессе графической подготовки: материалы респ. науч.-метод. конф., Витебск, 5 декабря 2008 г. - Витебск: УО «ВГТУ», 2008. С. 15-17.

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕЩЕННОГО МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ В АКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Довгалева А. М., канд. техн. наук, доцент
Белорусско-Российский университет

Аннотация. Разработка инновационных методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин является актуальной задачей. В работе представлена технология отделочно-упрочняющей обработки, при которой на поверхность ферромагнитной детали одновременно воздействуют концентрированным потоком энергии вращающегося магнитного поля и колеблющимися деформирующими шарами, осуществляющими многократное импульсно-ударное деформирование. При этом упрочняющую обработку производят в активной технологической среде, в качестве которой используют смесь, состоящую из ультра- или мелкодисперсных порошков мягких металлов или их соединений и веществ, восстанавливающих металлы и активизирующих процесс растворения химически стойких окислов.

Проведенные в работе исследования микроструктуры упрочненных стальных образцов, шероховатости поверхности, результаты рентгеноструктурного анализа, триботехнические испытания позволили выявить преимущества разработанной технологии поверхностной модификации ферромагнитных деталей.

Ключевые слова: накатывание; активная технологическая среда; комбинированный инструмент; импульсно-ударное деформирование; износостойкость.

Разработка инновационных методов и технологий отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей, обеспечивающих существенное повышение их износостойкости, является важной технологической задачей.

Высокий научный и практический интерес вызывает разработанная технология упрочняющей обработки поверхностей ферромагнитных деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием (МДН) в активной технологической среде.

В соответствии с технологией упрочняющую обработку осуществляют в активной технологической среде и воздействуют на упрочняемую поверхность ферромагнитной детали (далее детали) деформирующими шарами, получающими энергию для многократного

импульсно-ударного деформирования от периодически действующего магнитного поля инструмента. Одновременно на деталь воздействуют вращающимся магнитным полем с индукцией 0,05–1,20 Тл, силовые линии которого располагают вдоль обрабатываемой поверхности. В качестве активной технологической среды используют смесь, состоящую из ультра- или мелкодисперсных порошков мягких металлов, или их соединений и веществ, восстанавливающих металлы и активизирующих процесс растворения химически стойких окислов.

Для реализации технологии применительно к упрочнению внутренних и наружных поверхностей вращения, а также плоских поверхностей ферромагнитных заготовок на станках токарной и сверлильно-фрезерно-расточной групп, спроектированы прогрессивные конструкции комбинированных инструментов с магнитной системой на основе постоянных магнитов из редкоземельных материалов.

Разработана динамическая модель процесса совмещенного МДН в активной технологической среде, учитывающая динамические параметры технологической системы, в том числе жесткость связи деформирующих шаров с магнитной системой инструмента, позволяющая определять требуемые характеристики источников магнитного поля комбинированного инструмента.

Выполнены экспериментальные исследования характеристик магнитной системы комбинированного инструмента и определена величина индукции магнитного поля в кольцевой камере в зоне расположения деформирующих шаров.

Разработаны и испытаны разновидности активных технологических сред для осуществления технологии комбинированной модификации.

Проведенные исследования микроструктуры упрочненных стальных образцов показали, что технология совмещенного МДН в активной технологической среде относится к нанотехнологиям поверхностной модификации и позволяет получить модифицированный поверхностный слой глубиной 13–14 мкм, состоящий из упрочненного твердосмазочного покрытия толщиной 1,7–3,6 мкм, и расположенных ниже в основном материале образца наноструктурированного слоя высотой 3,0–4,5 мкм (с размером субзерен до 100 нм) и упрочненного слоя высотой 4,9–8,5 мкм (с размером субзерен более 100 нм). Состав получаемого на поверхности ферромагнитных деталей твердосмазочного покрытия зависит от компонентов применяемой активной технологической среды.

Представлены исследования влияния количества рабочих ходов инструмента на толщину формируемого твердосмазочного покрытия. Анализ результатов исследования показал, что наибольшая толщина твердосмазочного покрытия формируется на поверхности стальных заготовок при осуществлении первых трех рабочих ходов инструмента.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа упрочненных стальных образцов позволили выявить в упрочненном наноструктурированном поверхностном слое основного материала увеличение содержания углерода, а в твердосмазочном покрытии – наличие меди.

Предложена физическая модель формирования в поверхностном слое ферромагнитной заготовки совмещенным МДН в активной технологической среде мелкодисперсной субзерненной структуры.

Получены зависимости шероховатости поверхности заготовок, упрочненных совмещенным МДН в активной технологической среде от режимов процесса комбинированной модификации.

Исследовано влияние режимов процесса совмещенного МДН в активной технологической среде на характеристики микрорельефа упрочняемой поверхности заготовок.

Определены рациональные режимы совмещенной упрочняющей обработки для достижения минимальной шероховатости поверхности заготовок из стали 45 (30–35 HRC).

Установлено, что совмещенное МДН в активной технологической среде позволяет обеспечить снижение шероховатости поверхности стальных заготовок (по параметру Ra) с 1,60–0,16 до 0,20–0,08 мкм.

Выявлено, что предложенная технология упрочнения обеспечивает повышение маслостойкости поверхности стальных заготовок.

Триботехнические испытания показали, что разработанная технология совмещенного МДН в активной технологической среде позволяет:

- снизить коэффициент трения скольжения поверхности образцов в 1,3-1,5 раза;
- повысить износостойкость поверхностей стальных заготовок в 4,9 раза.

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕЩЕННОГО МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Довгалева А.М., канд. техн. наук, доцент,
Сухоцкий С.А., канд. техн. наук,
Свирица Д.М., канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет

Аннотация. В статье приведены сведения об инновационной технологии упрочнения плоских поверхностей ферромагнитных деталей совмещенной обработкой концентрированным потоком энергии вращающегося магнитного поля и динамическим поверхностным пластическим деформированием. Описана конструкция комбинированного накатника для реализации технологии совмещенного упрочнения, содержащая магнитные системы на основе цилиндрических постоянных магнитов.

Ключевые слова: деформирование; комбинированный накатник; магнитная система; модифицированный слой; ферромагнитная деталь.

В большинстве случаев выход из строя механизмов технических систем вызван износом рабочих поверхностей их ответственных деталей. В связи с этим повышение износостойкости поверхностей деталей машин является важнейшей народнохозяйственной задачей, решение которой принесет огромный экономический эффект.

Одним из технологических направлений повышения износостойкости поверхностей деталей является разработка и применение инновационных технологий упрочняющей обработки, в том числе технологий поверхностного пластического деформирования [1].

В Белорусско-Российском университете разработана технология совмещенного магнитно-динамического накатывания (МДН), согласно которой на поверхность ферромагнитной детали одновременно воздействуют вращающимся постоянным (или переменным) магнитным полем и многократным импульсно-ударным деформированием [2,3]. Совмещение во времени процессов силового и магнитного воздействий позволяет сформировать на детали наноструктурированный поверхностный слой с новыми физико-механическими свойствами и обеспечить существенное повышение ее эксплуатационных свойств [4].

Для адаптации технологии совмещенного МДН к обработке плоских поверхностей ферромагнитных деталей, например ножей дробильных машин, разработан комбинированный накатник, имеющий

деформирующие и приводные шары, снабженный двумя независимыми магнитными системами на основе постоянных магнитов (рисунок 1).

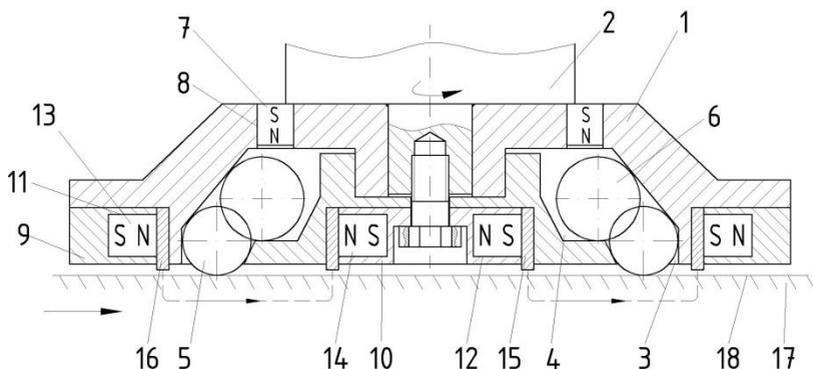


Рисунок 1 – Комбинированный накатник для совмещенного МДН плоских поверхностей

Комбинированный накатник для совмещенного МДН плоских поверхностей содержит: корпус 1; оправку 2; кольцевые камеры 3, 4; деформирующие шары 5; приводные шары 6; магнитные системы, предназначенные соответственно для разгона приводных шаров 6 и магнитного воздействия на поверхностный слой ферромагнитной детали. Первая магнитная система, выходящая в кольцевую камеру 4, включает цилиндрические постоянные магниты 7, установленные равномерно в аксиальных отверстиях 8 корпуса 1.

Вторая магнитная система (предназначенная для магнитного воздействия на поверхность ферромагнитной детали) содержит: обоймы 9, 10 с радиальными отверстиями 11, 12; цилиндрические постоянные магниты 13, 14; магнитопроводные втулки 15, 16. Деформирующие шары 5 и приводные шары 6 свободно установлены в кольцевых камерах 3, 4 с возможностью вращения вокруг вертикальной оси инструмента. Цилиндрические постоянные магниты 13, 14 размещены в радиальных отверстиях 11, 12. Корпус 1 и обоймы 9, 10 изготовлены из немагнитопроводных материалов.

Деталь 17 закрепляют на столе фрезерного станка, параллельно расположив плоскую поверхность 18. Оправку 2 инструмента устанавливают в шпинделе станка. Торцовые поверхности магнитопроводных втулок 15, 16 располагают с необходимым зазором к

плоской упрочняемой поверхности 18 ферромагнитной детали 17. Магнитный поток от цилиндрических постоянных магнитов 13, 14 замыкается на поверхностный слой ферромагнитной детали 17.

Шпинделю сообщают вращение, а столу станка – движение продольной подачи. Приводные шары 6 под действием магнитного поля от цилиндрических постоянных магнитов 7 вращаются вокруг вертикальной оси инструмента и наносят динамические удары по деформирующим шарам 5, имеющим небольшую окружную скорость вращения. В результате деформирующие шары 5 передают импульс взаимодействия с приводными шарами 6 плоской поверхности 18 ферромагнитной детали 17, обеспечивая динамическое упрочнение поверхностного слоя и формируя на ней микрорельеф в виде сетки пересекающихся микролунок. При этом процессы динамического поверхностного деформирования и магнитного воздействия на поверхностный слой ферромагнитной детали 17 совмещены во времени, что обеспечивает положительное влияние процессов друг на друга и формирование антифрикционного модифицированного слоя, имеющего высокие эксплуатационные характеристики.

Однако при упрочнении по разработанной технологии совмещенной обработки плоских поверхностей ножей с целью исключения образования заусенца на режущей кромке в ряде случаев требуется создавать препятствие течению деформируемого металла под действием деформирующих шаров (например, введением в контакт с упомянутой кромкой специального упора станочного приспособления). Указанная особенность затрудняет использование технологии совмещенного МДН плоских поверхностей ножей в условиях единичного и мелкосерийного типов производства, не предусматривающих применение специальной технологической оснастки.

В связи с этим, разработан усовершенствованный метод совмещенного МДН плоских поверхностей ножей для единичного и мелкосерийного производств, согласно которому ось вращения комбинированного накатника наклоняют на $2-5^\circ$ относительно нормали к плоской обрабатываемой поверхности по направлению подачи детали. При этом направление вращения комбинированного накатника выбирают из условия исключения ударного взаимодействия деформирующих шаров с режущей кромкой упрочняемого ножа (рисунки 2).

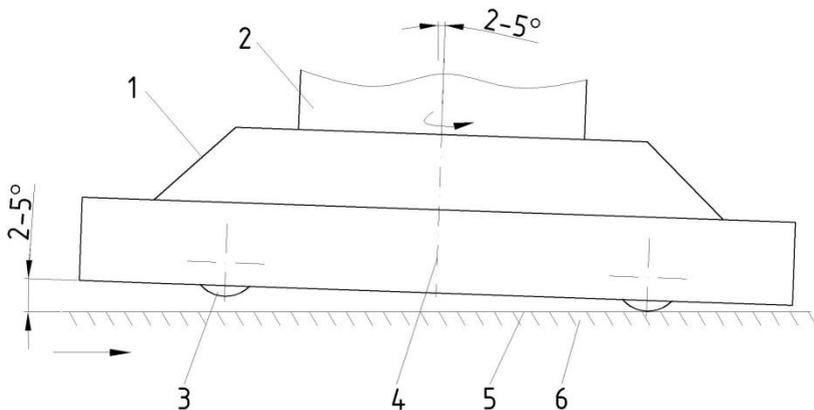


Рисунок 2 – Схема расположения комбинированного накатника при совмещенном МДН поверхности ножа в мелкосерийном производстве: 1 – корпус; 2 – оправка; 3 – деформирующие шары; 4 – ось вращения комбинированного накатника; 5 – упрочняемая плоская поверхность ножа; 6 – ферромагнитный нож.

Разработанная технология совмещенного МДН плоских поверхностей обеспечивает существенное увеличение ресурса работы упрочненных ферромагнитных деталей.

Список литературы:

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. РФ 2068770 / А.М. Довгалев. – Опубл. 10.11.1996.
3. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. РФ 2089373 / А.М. Довгалев. – Опубл. 10.09.1997.
4. Довгалев А.М. Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей: [монография] / А.М. Довгалев. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с. : ил.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дуюн Т.А., д-р техн. наук, профессор,
Баранов Д.С., аспирант,
Ерыгин Е.В., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Рассмотрена задача прогнозирования шероховатости при чистовом и получистовом точении с помощью нейросетевого моделирования. Описана архитектура, особенности и алгоритм обучения сетей. Созданы обучающие выборки. Созданы и настроены нейронные сети, определяющие шероховатость для чистового и получистового точения с точностью не ниже 10^{-2} и комбинированная сеть, обладающая функционалом первых двух, но имеющая меньшую относительную погрешность.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети (ИНС), шероховатость, чистовое и получистовое точение.

Разработка и использование искусственных нейронных сетей для повышения эффективности процессов механической обработки приобретает все большую популярность среди отечественных и зарубежных ученых [1-5]. Проведем краткий обзор имеющихся разработок в данной области.

Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) обусловлено их способностью к обучению на основе создания связей между входными и выходными данными. Одним из главных достоинств является производительность сети, которая характеризуется временем обучения и отклонением выходного сигнала от эталонного. Основное влияние на производительность оказывает архитектура сети и метод обучения. При должной настройке такой подход дает возможность решать трудоемкие задачи без использования сложного математического аппарата.

Для прогнозирования шероховатости при чистовом и получистовом точении использованы известные эмпирические формулы степенного вида:

$$Ra = 0,85 \frac{t^{0,31} s^{0,58} \phi^{0,4} \phi_1^{0,4}}{v^{0,06} r^{0,65} HB^{0,05}}, \quad (1)$$

$$Ra = k_0 \frac{s^{k_1} (90^\circ + \gamma)^{k_2}}{r^{k_3} v^{k_4}}, \quad (2)$$

где v – скорость резания, м/мин, s – продольная подача, мм/об, t – глубина резания, мм, r – радиус при вершине резца, мм, φ , φ_1 и γ – величины главного, вспомогательного углов в плане и переднего угла, град, HB – твердость, k_0 - k_4 – показатели степени для определения шероховатости поверхности.

В решении задач интерполяции хорошо себя зарекомендовали ИНС с обратным распространением ошибки [6], архитектура такой сети представлена на рисунке 1. Сеть состоит из двух слоев (скрытого и выходного), с сигмоидальной и линейной функциями активации соответственно.

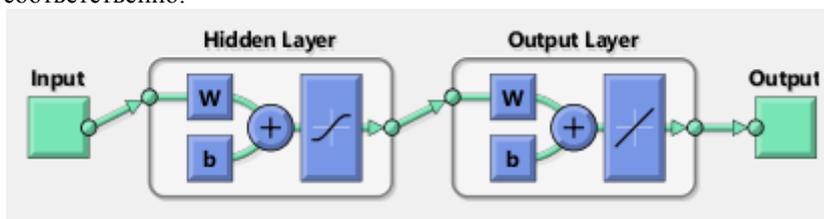


Рисунок 1 - Схема ИНС с обратным распространение ошибки

Подготовка обучающей выборки заключалась в создании массива входных и выходных данных (табл.1).

Таблица 1 - Диапазоны значений входных данных для чистового и получистового точения

Параметр	Чистовое точение	Получистовое точение
v , м/мин	50÷150	71÷282
s , мм/об	0,08÷0,18	0,05÷0,43
r , мм	0,5÷2	0,5÷2
t , мм	0,5÷1,5	-
φ , градусы	45÷75	-
φ_1 , градусы	25÷35	-
HB	140÷210	-
γ , градусы	-	-40÷4
Марки стали	Среднеуглеродистые стали	Ст3, 20, 45, 70

Так для чистового точения входными данными будут случайные значения в диапазонах для: скорости резания $v=50\div150$ м/мин, продольной подачи $s=0,08\div0,18$ мм/об, глубины резания $t=0,5\div1,5$ мм,

радиуса при вершине резца $r=0,5\div 2$ мм, главного $\phi=45\div 75^\circ$ и вспомогательного $\phi 1=45^\circ\div 75^\circ$ углов в плане, твердости $HB=140\div 210$. На выходе же должно получиться значение шероховатости Ra , мкм. Для полустихового точения на входе будут случайные значения в диапазонах для: скорости резания $v=71\div 282$ м/мин, продольной подачи $s=0,05\div 0,43$ мм/об, радиуса при вершине резца $r=0,5\div 2$ мм, переднего угла $\gamma=-40\div 4^\circ$, марок стали (Ст3, 20, 45, 70). На выходе так же будет значение шероховатости Ra , мкм.

Третья выборка – комбинация «чистовой и полустиховой». Для ее создания добавим еще один вход – метод обработки, чистовому точению будет соответствовать значение, равное 1, полустиховому, равное 2. В зависимости от величины этого значения входные и выходные данные будут заполняться согласно условиям (диапазомам), обозначенным выше или нулями, если они отсутствуют при той или иной обработке. Фрагмент комбинированной выборки представлен на рис. 2. В каждой выборке будет по 1000 строк.

Метод	v	s	r	t	ϕ	$\phi 1$	HB	марка	γ	Ra
2	256	0,39	1,4	0	0	0	154	70	-15	4,97478
1	86	0,12	0,5	1,1	61	25	162	0	0	4,47309
1	103	0,13	1	0,7	45	25	187	0	0	2,25728
1	86	0,15	1,5	0,9	73	29	208	0	0	2,63769
2	169	0,26	1,6	0	0	0	191	45	-16	0,49373
2	251	0,26	1,5	0	0	0	192	45	-13	0,44922
1	68	0,14	1,1	0,9	56	33	145	0	0	3,03211
2	134	0,28	1	0	0	0	186	70	-5	5,06378
2	189	0,13	1,1	0	0	0	178	3	2	0,98219

Рисунок 2 - Фрагмент комбинированной выборки

На рисунках 3-4 приведены схемы применяемых сетей.

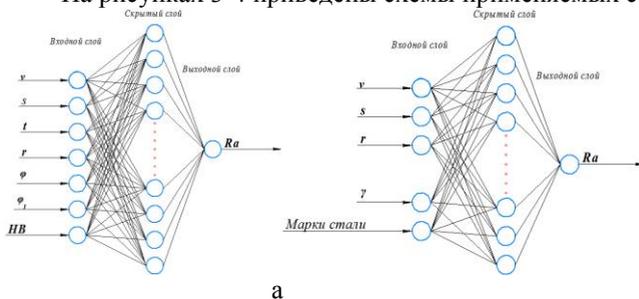


Рисунок 3 - Архитектура ИНС: а – чистовое точение, б – полустиховое точение

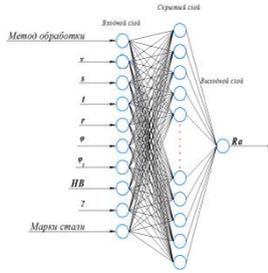


Рисунок 4 - Архитектура комбинированной сети

На рисунках 5-7 представлены результаты обучения сетей. На графике обучения сети показана зависимость величины погрешности от числа эпох (циклов обучения). Гистограмма ошибки отражает разброс погрешностей относительно нулевой линии (нулевая погрешность) и показывает число погрешностей конкретной величины.

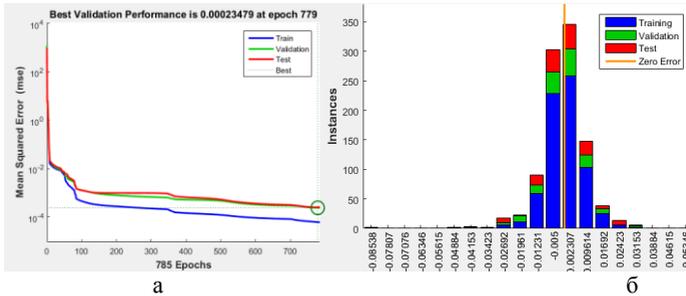


Рисунок 5 - Результаты работы ИНС для чистового точения:
 а – график обучения сети; б – гистограмма ошибки

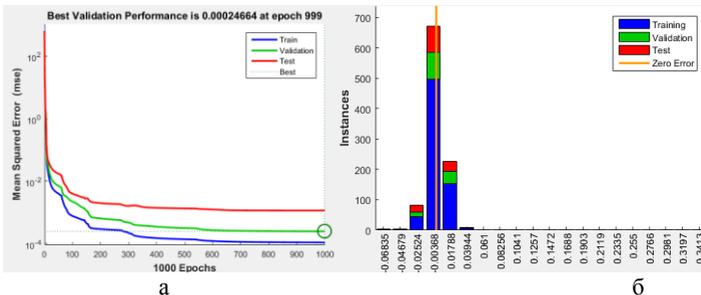


Рисунок 6 - Результаты работы ИНС для чистового точения:
 а – график обучения сети; б – гистограмма ошибки

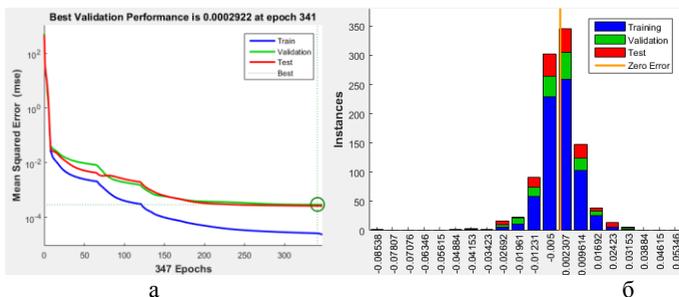


Рисунок 7 - Результаты работы ИНС для комбинированного точения: а – график обучения сети; б – гистограмма ошибки

ИНС принятой архитектуры показали хороший результат, наиболее высокую точность показала комбинированная сеть, относительная погрешность которой составила 0,62%. Сеть имеет десять нейронов входного слоя и сорок нейронов скрытого, обучена по алгоритму Левенберга-Марквардта, по функционалу не уступает предыдущим, а по удобству использования имеет явное преимущество.

Список литературы:

1. Дуюн Т.А., Гринек А.В. Математическое моделирование процессов механической обработки как средство управления технологическими параметрами на основе нейросетевых и нечетких моделей // Труды международной конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении», Севастополь – 2016, №3 (3). С. 28-33.
2. Хоанг В.Ч., Сальников В.С. Моделирование температуры резания в условиях неопределенности с применением искусственной нейронной сети // В сб. Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С. 386-395.
3. Selecting an artificial neural network for efficient modeling and accurate simulation of the milling process / Briceno J.F., El-Mounayri H., Mukhopadhyay S. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42, №6. P. 663-674.
4. Yang H., Ni J. Dynamic neural network modeling for nonlinear, nonstationary machine tool thermally induced error // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005. Vol. 45 № 4–5. P. 455–465.
5. Kim H.Y., Ahn J.H. Chip disposal state monitoring in drilling using neural network based spindle motor power sensing // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42 № 10. P. 1113–1119.
6. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтролеры: учеб. Пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АВТОГИДРОПОДЪЕМНИКОВ ПРИ РАСШИРЕНИИ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Луцко Т. В., канд. техн. наук, доцент
*Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры*

Аннотация. Рассмотрены основные направления расширения технологических возможностей автогидроподъемников на строительном объекте. Обоснованы рекомендации по рациональному выбору автогидроподъемников с разными видами стрелового оборудования на основании оценки показателей эффективности их применения.

Ключевые слова: автогидроподъемник, высота подъема, зона обслуживания, масса, эффективность

Автогидроподъемники широко используются для обслуживания и ремонта линий электропередач, осветительных систем, при отделочных работах в строительстве, а также для выполнения специальных работ, например, для обслуживания и ремонта мостовых сооружений, а при дооборудовании – для пожаротушения.

Одним из основных показателей оценки эффективности применения автогидроподъемников – является, прежде всего, его зона обслуживания. Расширить технологические возможности подъемников представляется возможным за счет совершенствования компоновочной схемы их стрелового оборудования. При использовании одного телескопического колена подъемник имеет наименьшую зону обслуживания, при этом люлька перемещается по прямолинейной траектории [1]. Наличие большего количества колен (стрел), разных способов их установки, возможности их телескопирования, а также применение поворотных люлек не только увеличивают зону обслуживания подъемника, но при этом сохраняется транспортная длина машины и появляется возможность эксплуатации подъемника в стесненных условиях. В настоящее время основная тенденция развития подъемников – повышение высоты подъема. Например, коленчато-телескопический подъемник S112HLA финской компании Bronto Skylift может работать на высоте 112 м с грузом 700 кг [2].

Перед потребителем встает вопрос выбора наиболее эффективного варианта. В работе проанализируем показатели, влияющие на рациональный выбор подъемника с разными видами стрелового оборудования. Распространены автогидроподъемники следующих

типов: 1) коленчатые (шарнирно-сочлененные); 2) телескопические; 3) шарнирно-телескопические (коленчато-телескопические). Отдельную группу подъемников представляют автовышки вертикального подъема.

Каждый тип стрелового оборудования имеет свои преимущества и недостатки. Проанализируем технологические возможности автогидроподъемников высотой подъема 22...23,5 м вышеперечисленных трех типов с целью определения наиболее эффективного варианта. Для примера возьмем автогидроподъемники двух производителей: ООО «Зуевский энергомеханический завод» (г. Зугрэс) [3] и ОАО «Пожтехника» (г. Торжок) [4]. На рис. 1 представлены: коленчатый автогидроподъемник ПГ-22, коленчатый автогидроподъемник с дополнительной стрелой ПГ-22.11 [3], телескопический автогидроподъемник АПТ-22, шарнирно-телескопический (или телескопический с дополнительной стрелой) автогидроподъемник ПАРТ-23 [4]. Технические характеристики рассматриваемых подъемников приведены в табл. 1. На рис. 2 представлены зоны обслуживания автогидроподъемников ПГ-22, ПГ-22.11, АПТ-22, ПАРТ-23.

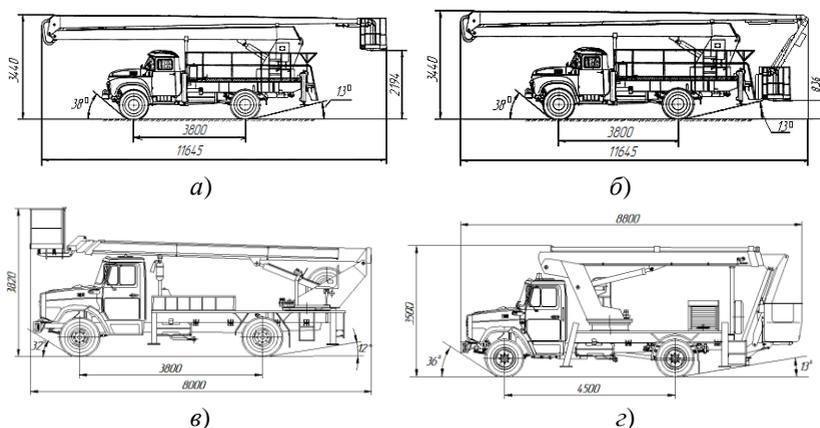


Рисунок 1 – Общие виды автогидроподъемников:

а – коленчатого ПГ-22; *б* – коленчатого с дополнительной стрелой ПГ-22.11; *в* – телескопического АПТ-22; *г* – шарнирно-телескопического ПАРТ-23

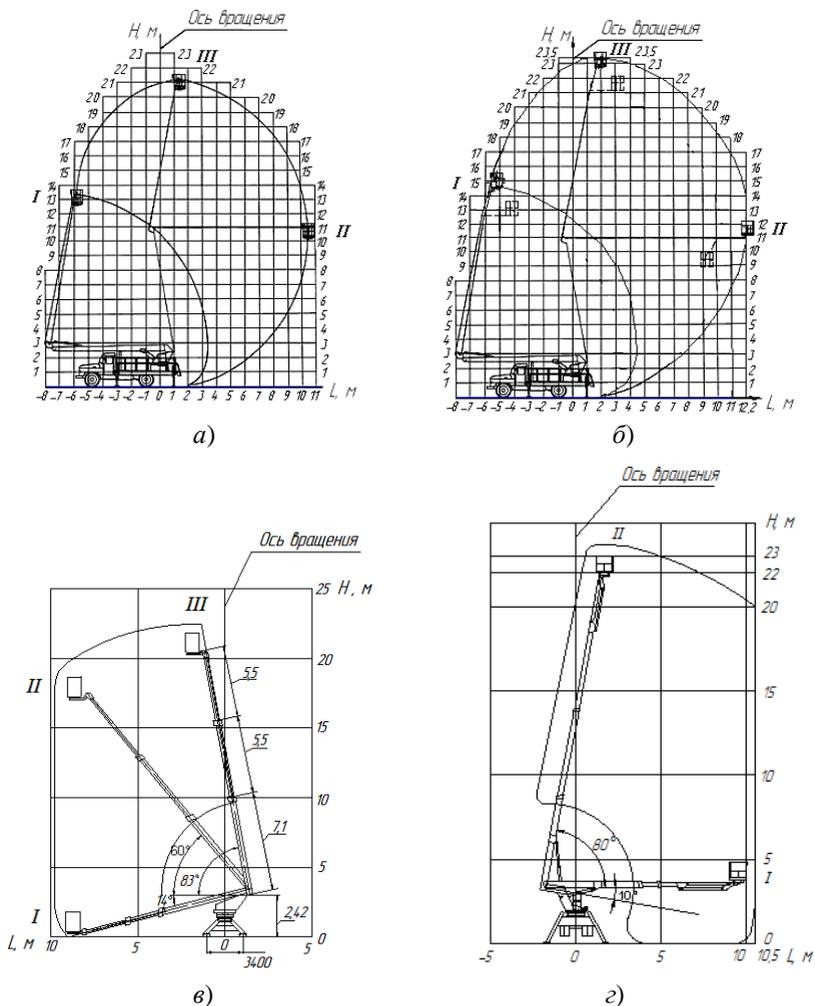


Рисунок 2 – Зоны обслуживания автогидроподъемников:
 а – коленчатого ПГ-22; б – коленчатого с дополнительной стрелой ПГ-22.11; в – телескопического АПТ-22; г – шарнирно-телескопического ПАРТ-23

Для анализа будем использовать систему показателей, представленных в работах [5–7]: показатель оценки материалоемкости

высоты подъема, показатель оценки энергоемкости высоты подъема, обобщенные показатели энерго-, материалоемкости и зоны обслуживания.

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Помимо указанных показателей на эффективность работы подъемника влияет его производительность, связанная с грузоподъемностью и временем подъема люльки.

Показатель оценки материалоемкости высоты подъема:

$$\Pi_m = \frac{m_{\text{ПОД}}}{H} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $m_{\text{ПОД}}$ - масса навесного оборудования подъемника, т; H - максимальная высота подъема, м.

Показатель оценки энергоемкости высоты подъема:

$$\Pi_N = \frac{N}{H} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где N - суммарная мощность подъемника, кВт.

Обобщенный показатель экономии энерго-, материалоемкости и зоны обслуживания:

$$\Pi_{Nmm} = \frac{m_{\text{ПОД}} N}{S^2} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где S - площадь зоны обслуживания подъемником (очерчивается стреловым оборудованием, см. высотные характеристики на рис. 2), м².

Обобщенный показатель оценки материалоемкости высоты подъема, грузоподъемности и вылета:

$$\Pi_{mHQL} = \frac{m_{\text{ПОД}}}{H \cdot Q \cdot L} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где Q - грузоподъемность подъемника, т; L - максимальный вылет стрелового оборудования подъемника, м.

Проведенный анализ показал, что подъемники наиболее эффективно оценивать по зоне обслуживания (или высоте подъема), материалоемкости и производительности. Энергоемкость влияет незначительно. Причем, чем больше высота подъема, тем эффективнее подъемник, что подтверждает основную тенденцию развития данной техники.

Таким образом, потребителю по технико-экономическим характеристикам стоит остановить свой выбор на телескопическом подъемнике с дополнительной стрелой ПАРТ-23, обладающего высотой подъема 23 м (см. данные табл. 1). Окончательно выбор производится после экономических расчетов и определения стоимости машины.

Таблица 1 - Результаты анализа эффективности автогидроподъемников

Наименование показателей	Тип подъемника			
	ПГ-22	ПГ-22.11	АПТ-22	ПАРТ-23
Высота подъема, H , м	22	23,5	22	23
Максимальный вылет, L , м	10,5	12,2	8,5	10
Зона обслуживания, S , м ²	362,6	450,0	294,0	361,0
Грузоподъемность, Q , т	0,25	0,25	0,3	0,3
Масса полная $m_{под}$, т	10,3	11,12	9	10
Мощность двигателя, N , кВт	110	110	110	110
$\Pi_m = m_{под} / H$	0,468	0,473	0,409	0,435
$\Pi_N = N / H$	5	4,68	5	4,78
$\Pi_{Nmm} = m_{под} N / S^2$	0,0086	0,006	0,011	0,0084
$\Pi_{mQL} = m_{под} / (H \cdot Q \cdot L)$	0,178	0,155	0,160	0,145
Производительность, Π , т/ч	2,37	2,25	3	2,84

Таким образом, определены основные показатели подъемников, по которым предлагается осуществлять их выбор при расширении технологических возможностей их стрелового оборудования.

Список литературы:

1. Гудков Ю.И., Сытник Н.П. Автомобильные подъемники и вышки: Учебник для ПТУ. – К.: Основа, 2004. – 208 с.
2. Протасов Н. Автогидроподъемникам присуща «акселерация»? // Основные средства, №2, 2013. – С. 36 – 42.
3. ООО «Зуевский энергомеханический завод» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Зугрэс, 2018. URL: <https://zemz.uaprom.net/>
4. ОАО «Пожтехника» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Торжок, 2018. URL: <http://www.pozhtechnika.ru/>
5. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр.: Днепропетровск: ПГАСиА, 2002. Вып. 15. 4. 2. – С. 143–150.
6. Хмара Л. А., Дахно О. А. Телескопическое рабочее оборудование гидравлического экскаватора и оценка его эффективности // Строительные машины, № 11, 2013. – С. 8 – 11.
7. Луцко Т.В. Анализ эффективности применения дополнительной стрелы в подъемнике гидравлическом ПГ-22.11 // Механизация строительства, №3, 2015. – С. 30 – 32.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ЧЕРТЕЖАХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Маслова И.В., канд. техн. наук, доцент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. Использование параметрических возможностей САПР Компас 3D при создании эскизов для твердотельного моделирования. Наложение командных связей и ограничений на геометрические построение, а также создание математических зависимостей в эскизах для деталей машиностроения. Повышение эффективности подготовки конструкторской документации за счет параметрической геометрии в эскизах 3D-моделей, функциональной связи между переменными параметров графических объектов.

Ключевые слова. Параметризация в Компас 3D, использование переменных, конструкторско-технологическая документация, построение математических зависимостей между переменными эскиза, 3D-моделирование.

При подготовке конструкторско-технологической документации на изготовление деталей может быть использовано различное прикладное программное обеспечение, позволяющее как получить чертежи детали, так и технологические карты на изготовление детали. Использование всего функционала программного обеспечения повышает качество документации на изготовление и обработку деталей. Для ускорения получения документации на изготовление деталей используют цифровые 3D – модели.

Для создания 3D - модели детали можно воспользоваться САПР Компас 3D V15 [1]. В качестве примере рассмотрим моделирование детали «кронштейн». Габаритные размеры детали 100×75×60 мм. Толщина стенок кронштейна 5 мм. В конструкции детали выполнены отверстия, диаметрами $\varnothing 5$ мм, $\varnothing 7$ мм и $\varnothing 6$ мм.

Построение твердотельной 3D - модели детали состоит из двух видов работ: задание контура с известными геометрическим параметрам и использование одной из формообразующих операций САПР – системы. Для того, чтобы начать формирование тела, необходимо определиться с первоначальным эскизом, к которому впоследствии и будет применена формообразующая операция.

В качестве основания необходимо выбрать элемент, который

впоследствии будет обеспечивать положение всех элементов твердотельной модели и обеспечивать требуемые геометрические связи.

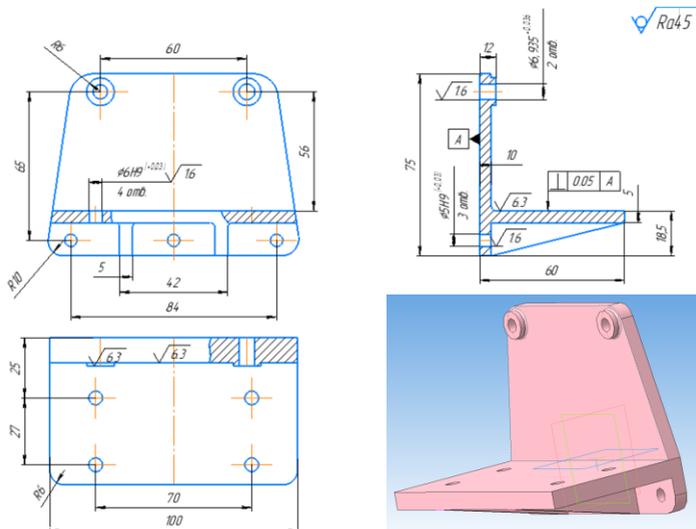


Рисунок 1 - Деталь «Кронштейн»

Согласно чертежу детали в начальном эскизе необходимо создать прямоугольник, высотой 75 мм и шириной 100 мм (рис.2).



Рисунок 2 - Первый эскиз для моделирования детали «кронштейн»

Для получения параметризованной модели, воспользуемся командами параметризации: зафиксируем размеры высоты и ширины прямоугольника, середину диагонали прямоугольника разместим в центре системы координат [2, 4]. Выполним дополнительные построения и получим трапецию. Скругления по углам трапеции выполним командой Скругления. Для полной картины геометрии проставим фиксированные размеры к геометрическим построениям.

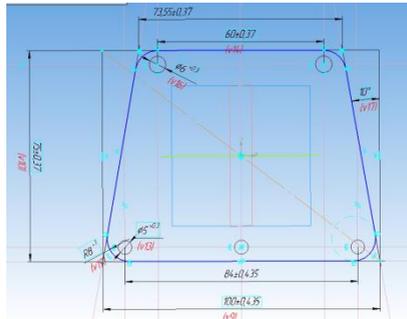


Рисунок 3 - Эскиз для операции «Выдавливания» с наложенными связями и ограничениями

В окне работы с переменными необходимо ввести зависимости, которые определяют связь между параметрами основания кронштейна.

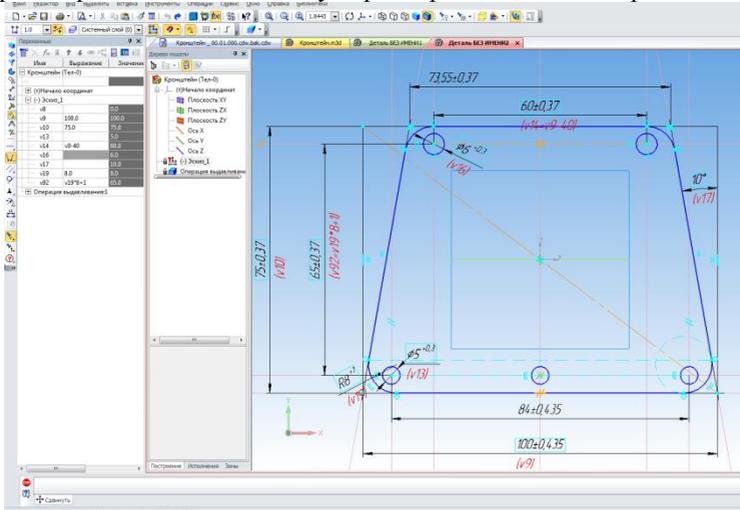


Рисунок 4 - Ввод зависимостей в Окне работы с переменными

Проставив параметрические зависимости и связи между графическими примитивами, получим эскиз для формообразующей операции «Выдавливания». Благодаря параметрическим зависимостям, при изменении, например, габаритных размеров кронштейна, будет меняться габарит эскиза, но не будет изменена топология детали [3].

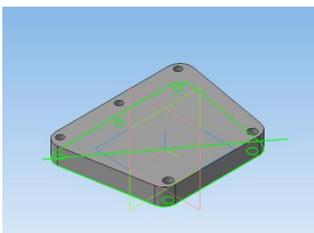


Рисунок 6 - Результат операции «Выдавливания»

В результате создания файла графической информации (рис.1), в котором присутствует геометрия детали, параметризованные эскизы, заданные пользователем зависимости, получена твердотельная модель детали «Кронштейн». По полученной модели создаются виды модели, в которых представлены чертежи изделия. При дальнейшем редактировании чертежа, в видах проставляются необходимые технические обозначения и размеры.

Использование возможностей параметрического режима позволяет исключить ошибки построения твердотельных моделей, предоставляют возможность получения множества чертежей с различными габаритными размерами, в случае необходимости, возможность задания математических зависимостей между параметрами графических примитивов.

Список литературы:

1. Хуртасенко А.В., Маслова И.В., Автоматизированная конструкторско-технологическая подготовка в машиностроении: учебно-практическое пособие /А. В. Хуртасенко, И. В. Маслова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016.-229с.
2. Маслова, И.В. Дистанционная диагностика состояния восстанавливаемых поверхностей крупногабаритных объектов в процессе их эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 и 05.02.08 / И. В. Маслова. – Белгород: БГТУ, 2013. – 159 с.
3. Маслова, И.В. Физическое моделирование восстановления формы вращающейся детали при токарной обработке. / И.В. Маслова, В.Я. Дуганов, Р.Г. Ястребов // Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: сб.научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2013г.: в 10 частях. Ч.5; М-во обр.и науки РФ. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – 163с. стр.80-81.
4. Хуртасенко, А.В. Технология восстановительной обработки крупногабаритных деталей с использованием методов активного контроля: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А. В. Хуртасенко. -- Белгород: БГТУ, 2007. – 150 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРАВКОЙ МЕСТНЫМ НЕРАВНОМЕРНЫМ НАГРЕВОМ ТВЧ И ОХЛАЖДЕНИЕМ

Огнев О.Г.¹, д-р экон. наук, профессор,
Огнев И.Г.², канд. техн. наук, доцент,
Банных С.А.², студент

¹*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*

²*Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина*

Аннотация. Рассматриваются актуальные вопросы устранения деформаций изгиба коленчатого вала, анализируются существующие технологии по устранению дефектов коленчатых валов, рассмотрена технология восстановления коленчатых валов правкой местным неравномерным нагревом твч и охлаждением.

Ключевые слова: Технология восстановления, коленчатый вал, восстановление изношенных деталей, неравномерный нагрев, твч, охлаждение, двигатель внутреннего сгорания.

Устойчивая, эффективная работа двигателя внутреннего сгорания в совокупности факторов зависит от качества входящих в конструкцию деталей. Большинство деталей работают в сложных условиях и подвержены различным нагрузкам. Одной из таких деталей, определяющей ресурс всего двигателя, является коленчатый вал.

Процесс эксплуатации влечет появление дефектов. Можно выделить следующие: износ пазов, канавок и цилиндрических поверхностей, изгиб вала, скручивание вала, износ резьбовых поверхностей, появление изломов и другие.

Примерно 6...8 % всех дефектов коленчатого вала приходятся на прогиб. В процессе производства, эксплуатации, восстановления коленчатый вал приобретает существенные деформации – прогиб, укорочение.

В случае превышения допустимых величин, регламентированных в технических требованиях, происходит ускоренный износ вкладышей и шеек вала, повышенные нагрузки на постель блока, задиры шеек, повышение износа гильз, перекос поршней, повышаются ударные и динамические нагрузки. Нарушение регламента вызывает снижение вероятности безотказной работы двигателя до 58...76 %.

Существующие, на данный момент, способы восстановления коленчатых валов не обеспечивают необходимого уровня его качества.

Например, использование в качестве правки шлифования приводит к потере до трех ремонтных размеров. Как следствие, коленчатый вал бракуют и отправляют на восстановление гораздо раньше срока. Использование технологии правки на прессе снижает циклическую прочность материала вала на 35 %. При использовании правки чеканкой удается устранить биения не более 0,03...0,05 % длины вала.

Одним из перспективных способов является правка местным неравномерным нагревом токами высокой частоты и охлаждением. Использование подобной технологии направлено на повышение надежности автотракторных двигателей.

Теоретическими исследованиями установлена зависимость деформации коленчатого вала от деформации отдельных его элементов. В большинстве случаев на образование прогиба коленчатого вала основное влияние оказывают средние шатунные шейки или шатунные шейки с задирками. Осуществлять правку коленчатого вала целесообразно воздействием на шатунные шейки. Определены факторы, оказывающие влияние на величину устраняемого биения вала при его правке нагревом ТВЧ и охлаждением.

Опишем явления, происходящие в металле при нагреве и охлаждении. Важная часть это явления деформации при закалке. Исходя из анализа литературных данных, имеем итоговые деформации детали в процессе закалки: диаметр деталей, как правило, увеличивается на 0,010...0,030 мм на 1 мм толщины закаленного слоя; длина деталей будет уменьшаться, при условии, что диаметр детали меньше ее высоты и наоборот. Так же существуют случаи, когда одновременно возрастают и высота, и диаметр детали.

При повторных закалках – следует считать процессы идентичными, происходящими при однократной закалке. Возможны различия в структуре закаленной стали связаны с режимами закалки и заключаются в изменении количества остаточного аустенита, карбидов, обедненного углеродом мартенсита. Возможности формирования металла при последующих закалках ограничены, что приводит к снижению абсолютной деформации детали от цикла к циклу.

Величина деформации шейки вала при закалке зависит от температуры нагрева, глубины и длины закаленного участка шейки, его расположения относительно шейки, интенсивности охлаждения шейки, виды применяемой закалочной среды, количества нагревов и охлаждений. Закономерность деформации установлена в ходе эксперимента.

Следует учитывать тот факт, что использование в качестве источников нагрева вносит свои особенности в создание температурного поля в детали, поэтому данные явления и закономерности следует рассматривать с учетом специфичности нагрева токами высокой частоты.

Рассмотрим влияние особенностей нагрева токами высокой частоты на деформацию деталей. Особенность состоит в том, что используемая для нагрева энергия выделяется в достаточно тонком поверхностном слое детали, благодаря чему процесс осуществляется с очень высокой скоростью в диапазоне значений $100...1000$ ° С/с. Увеличение скорости нагрева под закалку вызывает и увеличение необходимой температуры нагрева. Нагрев детали под закалку и нагрев детали с целью правки далеко не одно и то же, поэтому необходимо рассмотреть влияние на деформацию детали всего спектра температур нагрева. Нижняя граница должна совпадать с температурой начала фазовых преобразований $720...750$ ° С, а верхняя с температурой оплавления поверхности $1100...1200$ ° С. Оптимальное значение температуры подбирается на основе экспериментальных данных.

Особенность нагрева токами высокой частоты выражена, что приближение нагреваемого участка шейки к галтели ближе оговоренных в технических требованиях значений $4...5$ мм вызовет повышенный отвод тепла в щеку вала и снижение относительной деформации шейки. Поскольку приближение закаленного слоя к галтели включает в зону нагрева незакаленные участки металла, степень формоизмерения которых значительно выше, чем у предварительно закаленных, следует ожидать увеличения абсолютной деформации шейки. Увеличение происходит за счет большей величины относительной деформации незакаленного участка. Зависимость абсолютной деформации от расстояния между границей закаленного участка и галтелью устанавливается в ходе эксперимента. Необходимо учитывать, что при чрезмерном смещении закаленного слоя к галтели возможен нагрев других участков вала, что повышает возможность проявления таких дефектов, как оплавление шеек. Наибольшая граница приближения закаленного слоя к галтели, которая обеспечивает отсутствие повреждений, определяется экспериментально.

Можно выделить следующие параметры, влияющие на получение качественного нагрева: мощность установки ТВЧ, время нагрева детали, скорость нагрева, параметры индуктора.

Рассмотрим влияние деформации отдельных элементов коленчатого вала на его прогиб. По литературным данным установлена

взаимосвязь основных видов деформации – прогиба и укорочения. Появление деформаций коленчатого вала (в том числе прогиб) происходит при значительном износе шеек вала, главным образом шатунных. В случаях, когда износ шеек составляет порядка 0,020...0,030 мм, причинами предположительно являются: изменения распределения остаточных напряжений по объему металла в щеках; послойное снятие металла при шлифовании и износе шеек; переход зерен материала вала из неустойчивого состояния в более устойчивое (релаксация напряжений правки, закалки). Так как шатунные шейки являются наиболее слабыми элементами коленчатых валов, то и перераспределение остаточных напряжений и связанные с ними деформации прежде всего возникают в шатунных шейках, точнее в наиболее нагруженных или наиболее ослабленных (с меньшей жесткостью сечения) из них.

Экспериментальными исследованиями обоснован механизм деформации вала при его правке. Получены уравнения регрессии, описывающие зависимость величины устраняемого биения вала и вероятности отсутствия повреждений на шейке от воздействующих факторов. Выделены следующие факторы, оказывающие влияние на величину устраняемого биения: глубина и ширина зоны нагрева, температура нагрева, взаимное расположение нагреваемого участка и шейки. В качестве закалочной жидкости применялась вода.

Технология правки включает следующие операции:

1. контроль величины биения коленчатого вала (при биении коленчатого вала менее 0,15 мм переходят к операции (б)),
2. выбор схемы правки коленчатого вала,
3. правка коленчатого вала,
4. стабилизация формы коленчатого вала,
5. контроль величины биения коленчатого вала (при биении одной из коренных шеек 0,10 мм операция (3) повторяется),
6. шлифование коленчатого вала,
7. контроль коленчатого вала (по техническим требованиям).

Данный способ правки не снижает циклической прочности коленчатых валов.

Использование способа правки местным неравномерным нагревом токами высокой частоты и охлаждением снижает возможность возврата прогиба вала в процессе эксплуатации, а процесс приработки двигателя – происходит в более благоприятных условиях – отсутствие повышенных нагрузок, отсутствие нарушения смазки деталей.

Описанные преимущества данного способа позволяют уменьшить возможность внезапного выхода двигателя из строя при его эксплуатации. Так же можно отметить повышение на 61,2 % гамма-ресурса двигателей с использованием отремонтированных коленчатых валов, выправленных нагревом ТВЧ и охлаждением, по сравнению с использованием обычной технологии ремонтного завода.

Правка местным неравномерным нагревом токами высокой частоты и охлаждением повышает предел выносливости отсеков коленчатых валов на 9,2...36,5 % по сравнению с существующими способами устранения деформации валов. По результатам эксплуатационной проверки, наработка двигателей с коленчатыми валами, выправленными данным способом, на 20,4 % выше, чем у двигателей, отремонтированных по существующим технологиям.

Способ правки местным неравномерным нагревом токами высокой частоты и охлаждением был внедрен на Магнитогорском ремонтном заводе.

Список литературы:

1. Головин Г.Ф. Остаточные напряжения, прочность и деформации при поверхностной закалке ТВЧ. — Л.: Машиностроение, 1973. — 144 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. — М.: Металлургия, 1983. — 360 с.
3. Огнев О.Г. Устранение деформации изгиба коленчатых валов правкой местным неравномерным нагревом ТВЧ и охлаждением. Автореф. дисс.. к. т. н. Челябинск, 1991. — 27 с.
4. Беляев В.Н. Исследование деформации коленчатых валов автомобильных двигателей при их восстановлении и способы устранения деформации. — Дисс. ...канд.техн.наук. — М., 1981. — 207 с.
5. Агузаров В.О. Исследование причин деформации коленчатых валов ЗИЛ-130 с целью увеличения межремонтного ресурса. — Дисс. ...канд.техн.наук. — М.; 1974. — 120 с.
6. Шацричев В.А. Основы технологии автостроения и ремонта автомобилей. — М.: Машиностроение, 1976. — 558 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ ЕЁ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Соловьев В.В., канд. техн. наук, доцент,
Салтыков А.С.,
Красикова М.С.,
Ткаченко И.К.

Ярославский государственный технический университет

Аннотация. В статье показана возможность приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей, не уступающих по характеристикам жидкостям на масляной основе, которые оказались устойчивыми к окислению и разложению, а также расслаиванию более чем 6 месяцев. Представлены результаты успешно проведенных исследований по проверке работоспособности СОЖ для скоростной обработки металла на автоматической линии. Проведенные исследования показали, что разработанные СОЖ могут быть рекомендованы к использованию на машиностроительных предприятиях.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, обработка металла, режущий инструмент, эксплуатационные свойства.

Введение. Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) находят широкое применение в машиностроительной промышленности и металлообработке. Качественные смазочно-охлаждающие жидкости продляют срок эксплуатации оборудования и обеспечивают надёжную защиту промышленных образцов металлообработки, снижают риск распространения коррозии поверхностей, отводят тепло, возникающее вследствие трения, повышают гладкость и геометрически требуемую форму обрабатываемых деталей [1].

Основная часть. Авторами был разработан состав смазочно-охлаждающей жидкости для автоматических линий по обработке металлических и чугунных заготовок, а также деталей втулок и седел клапанов автомобильного двигателя. Линия имеет высокую производительность и синхронно осуществляет все основные и вспомогательные операции обработки. Система подачи СОЖ снабжена жестким фильтрующим устройством и насосами, обеспечивающими непрерывную подачу отфильтрованной жидкости к узлу резания.

Смазывающую способность оценивали на четырехшариковой машине трения ЧШМ-3 (ГОСТ 9490-60). В качестве базового масла

было выбрано масло И-20 Ярославского НПЗ. Охлаждающие свойства контролировали во время обработки металлических деталей на поточной автоматической линии.

В случае одновременного выполнения нескольких операций на современных металлорежущих станках, СОЖ подбирают, исходя из требований наиболее ответственной части работы, в данном случае — операции развертывания узкого отверстия металлокерамической втулки твердосплавным инструментом [2].

Режимы автоматической обработки втулки, указанные в таблице 1, способствуют возникновению в узле резания высоких нагрузок и контактных температур, что вместе с повышенными требованиями к чистоте обработанной поверхности обуславливает необходимость применения СОЖ с эксплуатационными свойствами [3].

Таблица 1- Условия механической обработки внутренней поверхности втулок и седел клапанов

Показатели	Автоматическая линия		Вертикально разверточный станок
	расточка седел клапанов	развертывание отверстий втулок	развертывание отверстий втулок
Обрабатываемый материал	Специальный чугун	Пористая металлокерамика	
Режущий инструмент	Резец из твердого сплава ВК-8	Резец из твердого сплава ВК-6	
Размер обрабатываемых деталей, мм (внутренний диаметр)	40	8 - 10	8 - 10
Размер обрабатываемых деталей, мм (длина)	-	60	60
Требуемая чистота обрабатываемой поверхности	▽ 6	▽ 8	▽ 8
Скорость резания, м/мин	110	90	23
Подача, мм/мин	60	200	160
Температура в месте соприкосновения резца с деталью, °С(без охлаждения)	1000	800	200—400

В настоящее время в промышленности для операций развертывания, в зависимости от обрабатываемого материала, материала инструмента, режима обработки и требований к качеству обработанной поверхности, в основном используются СОЖ импортного производства.

Однако указанные СОЖ дороги, импортозависимы и не применимы в условиях автоматической линии из-за недостаточных смазывающих свойств.

Для указанной автоматической линии авторами разработан состав СОЖ, состоящий из маловязкого глубокоочищенного базового масла И-20, производимого на ОАО «Славнефть ЯНОС» с присадками, обеспечивающими смазочно-охлаждающей жидкости необходимые эксплуатационные свойства при её продолжительной работе.

При введении набора присадок для указанной СОЖ, образцы были испытаны в промышленных условиях на автоматической линии одного из машиностроительных предприятий Ярославской области (Тутаевский моторный завод) - 3 опытные и одна опытно-промышленная партия. В результате проведенных испытаний была выявлена эффективность и работоспособность опытных партий в условиях длительной эксплуатации.

За весь период испытания смазочно-охлаждающая жидкость незначительно изменила физико-химические свойства и сохранила свою работоспособность. Разработанный образец полностью отвечал технологическим требованиям при обработке деталей из металлокерамики, серого чугуна, стали Ст.3, стали 45 и меди твердосплавным инструментом на многофункциональной автоматической линии, обеспечивая необходимые производительность и качество обработки.

Предлагаемая СОЖ, для металлообрабатывающих предприятий хорошо фильтруется, не дымит и не ухудшает санитарно-гигиенических условий рабочих мест. Основные показатели опытно-промышленной партии СОЖ — исходной и после 6 месяцев эксплуатации (базовое масло И-20 ОАО «Славнефть ЯНОС») — приведены в таблице 2.

Таблица 2- Эксплуатационные свойства СОЖ

Показатели	Исходное	После 6 мес. эксплуатации
Испытания на четырехшариковой машине трения:		
критическая нагрузка P_k , кгГ.	112	71
нагрузка сваривания P_c , кгГ	316	171
диаметры пятен износа, мм:		
d_1	1,47	1,99
d_2	2,56	2,51
d_3	3,23	3,16
обобщенный показатель износа режущего инструмента	5 4	2 9
Антикоррозионные свойства при 120°C:		
показатель агрессивности СОЖ, г/м ² :		
Металлокерамика	+ 5,8	+ 16,0
серый чугун	- 0,6	+ 0,2
сталь Ст. 3	- 0,3	+ 0,3
сталь 45	+ 0,3	+ 0,1
Медь	- 0,8	- 2,0
показатель агрессивности антизадирной пленки, г/м ² :		
Металлокерамика	+ 5,6	+ 0 , 9
серый чугун	+ 1,7	+ 2,4
сталь Ст. 3	+ 4,0	+ 6,2
сталь 45	+ 1,8	+ 3,1
Медь	+ 0,8	+ 0,9
Антиокислительная стабильность по методу IP при 120 °C:		
прирост кинематической вязкости при 20°C, %	8,5	9,5
прирост коксового числа, %	21,0	1,5
Пенообразование [5]	Отсутствует	
Дымление	Отсутствует	
Запах	Неприятный запах отсутствует	

Результаты по чистоте внутренней поверхности, обработанных деталей с использованием СОЖ разработанной в Ярославском государственном техническом университете (ЯГТУ), представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Качество обработанной внутренней поверхности втулок

Смазочно-охлаждающая жидкость	Класс чистоты обработанной поверхности		
	∇ 9	∇ 8	∇ 7
Опытная партия СОЖ	75%	25%	-
Опытно-промышленная партия СОЖ	78%	22%	-
Импортная смазочно-охлаждающая жидкость	-	30%	70%

Из данных таблицы 3 видно, что применение разработанной СОЖ обеспечивает квалифицированную эксплуатацию дорогостоящего оборудования и выпуск качественной продукции.

Выводы. В статье представлены результаты успешно проведенных исследований по проверке работоспособности СОЖ для скоростной обработки металла на автоматической линии. В настоящее время планируется освоение опытно промышленного производства СОЖ на одном из предприятий в Ярославской области.

Список литературы:

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. Справочник / под общ. ред. С. Г. Энгелиса, Э. М. Берлинера. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1995.
2. Тихомиров В. Д. Разработка биоразлагаемых смазочно-охлаждающих жидкостей / В. Д. Тихомиров, М. С. Красикова, В. В. Соловьев; // Семидесятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2017. – 187с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. Кокорин, В.Н. Применение смазочно-охлаждающих технологических жидкостей в производстве прокатки листового материала: учебное пособие / В. Н. Кокорин, Ю. А. Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 55 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОНЕНТА ДЛЯ НЕФТЯНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ИСТОЧНИКА СЫРЬЯ

Соловьев В.В., канд. техн. наук, доцент.,
Червочкин М.А.,
Кузнецова Е.Д.,
Головков А.Е.

Ярославский государственный технический университет

Введение. В настоящее время удорожание нефти и газа, а также тот факт, что эти источники сырья являются ограниченными, приводит к тому, что большинство развитых стран мира переходят на возобновляемые источники сырья. Одним из таких источников является биомасса и в частности древесина, наибольшие запасы которой произрастают на территории Российской Федерации [1].

Основная часть. В результате переработки древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах образуется большое количество лигносодержащих отходов или «шлам-лигнинов», которые не находят квалифицированного применения [2]. В своем составе лигносодержащих отходы имеют такие компоненты как жирные и смоляные кислоты и неомыляемые вещества, которые могут быть использованы в качестве био-компонента дизельного топлива, а также углеводородного сырья для органического синтеза [3].

Существуют различные возможные способы разделения лигносодержащих отходов на отдельные компоненты. К ним относятся ректификация, экстракция, омыление, центрифугирование, адсорбция, фильтрование, а также разделение путем частичной этерификации [4].

Процесс ректификации достаточно сложен в технологическом оформлении, так как для разделения лигносодержащих отходов потребуются несколько колонн. Кроме того, жирные и смоляные кислоты, входящие в состав лигносодержащих отходов имеют температуру кипения значительно выше 300 °С, поэтому процесс ректификации необходимо вести под вакуумом. Также в колоннах необходимо поддерживать максимально возможное разрежение и для предотвращения полимеризации, изомеризации, окисления и деструкции ненасыщенных кислот [5]. Все это делает процесс ректификации достаточно дорогостоящим.

При разделении методом омыления эффект разделения очень незначителен, а трудности отделения мыла от неомыляемой части велики, кроме того получаемые продукты должны дополнительно очищаться с применением дистилляции, адсорбции или рафинирования растворителями, поэтому вышеуказанный метод не экономичен [6].

При разделении лигносодержащих отходов методом экстракции основная сложность заключается в подборе растворителя. Растворитель должен обладать высокой селективностью, легкостью регенерации, а также быть доступным и по возможности не дорогостоящим [7].

Центрифугирование и фильтрование могут применяться лишь на начальных стадиях переработки для удаления механических примесей.

Адсорбцию экономически целесообразно применять для обработки смесей с низкой концентрацией извлекаемых веществ.

Целью настоящей работы является разработка технологии переработки лигносодержащих отходов для получения на его основе био-компонента дизельного топлива, а также выделения из этого многотоннажного отхода целлюлозно-бумажных комбинатов ценных компонентов для органического синтеза.

В качестве исходного сырья использовался лигносодержащий отход или «шлам-лигнин» ОАО «Котласского целлюлозно-бумажного комбината» (Архангельская область, г. Коряжма) – крупнейшего в Европе лесохимического комплекса. В таблице 1 приведены характеристики исходного лигносодержащего отхода. Определение каждого из показателей проводилось несколько раз. Наиболее близкие по значениям результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики исходного лигносодержащего отхода

Показатели	Номер определения		Среднее значение
Кислотное число, мг КОН/г	119,0	117,6	118,3
Число омыления, мг КОН/г	126,0	127,7	126,9
Йодное число, г I ₂ /100 г	103,1	103,6	103,3
Содержание смоляных кислот, %	22,05	21,00	21,52
Содержание неомыляемых веществ, %	20,37	21,08	20,72
Содержание лигнина, %	9,57	10,21	9,89
Содержание воды, %	9,93	8,97	9,45

Как видно из таблицы 1 в состав исходного сырья входит значительное количество лигнина, который повышает вязкость системы, а также будет препятствовать последующему проведению реакции этерификации. Поэтому первоначально необходимо удалить лигнин из смеси. Присутствующую воду также необходимо удалить, так как она будет смещать равновесие реакции этерификации в сторону образования исходных продуктов. В качестве растворителей удаления лигнина применялись вещества различного ряда соединений, таких как алифатического, ароматического, спирты, а также прямогонный бензин и дизельное топливо.

Опыты проводились в пробирках, куда добавлялось 20 см³ растворителя и 20 см³ исходного сырья. Полученная смесь перемешивалась в течение 15 минут при температуре 50 °С, а затем фильтровалась. Фильтр с лигнином сушился до постоянной массы при 100 °С. Затем, зная массу выделившегося лигнина и его содержание в исходном сырье, содержание в исходном сырье, рассчитывалась степень удаления лигнина по формуле:

$$X = \frac{m_{\text{лигнин}}}{m_{\text{навески}} \cdot x} \cdot 100,$$

где X – степень удаления лигнина, %;

$m_{\text{лигнин}}$ – масса лигнина на фильтре, г;

$m_{\text{навески}}$ – масса навески исходного сырья, г;

x – содержание лигнина в исходном сырье, масс. дол.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние растворителя на степень удаления лигнина
Объемное соотношение ЛСО «шлам-лигнин»: растворитель 1 : 1

Растворитель	Масса навески, г	Масса выделившегося лигнина, г	Степень удаления лигнина, %
Бензол	20,12	1,76	88,45
Толуол	23,37	2,04	88,26
Прямогонный бензин	22,51	1,99	89,39
Дизельное топливо	20,18	1,74	87,18
Гексан	22,63	2,06	92,04
Метанол	21,55	1,76	82,58
Этанол	21,23	1,72	81,92

Продолж. табл. 2

Пропанол	20,15	1,58	79,28
Бутанол	20,01	1,86	93,99

Из таблицы 2 видно, что наилучшую степень удаления лигнина имеют гексан и бутанол, однако, применение гексана не целесообразно, из-за его высокой стоимости, поэтому для дальнейших исследований в качестве экстрагента был выбран бутиловый спирт.

Из литературных источников известно, что бутанол образует с водой азеотропную смесь с температурой кипения равной 92,7 °С [8]. Смесь расслаивается при конденсации, образуя два слоя. Нижний слой – вода, насыщенная бутанолом, верхний – бутанол, насыщенный водой. Таким образом, удастся совместить два процесса в одной стадии – регенерация растворителя и удаление воды. В таблице 3 представлена характеристика полученного продукта, после удаления лигнина и воды.

Таблица 3 - Характеристика сырья после удаления лигнина и воды

Показатели	Номер определения		Среднее значение
	1	2	
Кислотное число, мг КОН/г	131,1	133,5	132,3
Число омыления, мг КОН/г	133,0	135,2	134,1
Йодное число, г I ₂ /100 г	138,9	140,9	139,9
Содержание смоляных кислот, %	25,82	26,22	26,02
Содержание неомыляемых веществ, %	25,89	24,68	25,28
Содержание лигнина, %	0,35	0,69	0,52
Содержание воды, %	0,00	0,00	0,00

Из таблицы 3 видно, что в процессе экстракции удалось практически полностью удалить лигнин, а совместно с процессом регенерации экстрагента – провести азеотропную осушку. Полученный продукт по основным характеристикам аналогичен сырому талловому маслу [9]. В таблице 4 приведена сравнительная характеристика полученного продукта и промышленного образца сырого таллового масла.

Таблица 4 - Сравнительная характеристика полученного продукта и сырого таллового масла

Показатели	Сырое талловое масло по ТУ- 13-0281078-119-89		Сырье после удаления лигнина и воды
	Смешанное	Лиственный	
Кислотное число, мг КОН/г	не менее 130	не менее 96	132,3
Содержание смоляных кислот, %	не менее 20	не определяется	26,02
Содержание неомыляемых веществ, %	не более 18	не более 20	25,28
Содержание лигнина, %	не определяется	не определяется	0,52
Содержание воды, %	не более 2	Не более 2	0,00

Как видно из таблицы 4, содержание жирных кислот в полученном продукте превосходит значения этого параметра в товарном продукте, выпускаемом на ЦБК. Поэтому полученное сырье после удаления лигнина и воды может быть использовано для синтеза компонента биотоплива, предварительно подвергаясь процессу этерификации с получением метиловых эфиров жирных кислот таллового масла. В качестве катализатора процесса этерификации использовалась *n*-толуолсульфокислота (*n*-ТСК). Массовая доля её составляла 3 % от массы жирных кислот. Температура проведения реакции – 60 °С. Время проведения реакции – 90 минут. Молярное соотношение жирные кислоты : метанол – 1 : 3.

После проведения процесса было установлено, что основным продуктом реакции этерификации являются алифатические эфиры жирных кислот с селективностью – 96,8 %. Невысокая степень превращения (конверсия составила – 63,0 %) объясняется присутствием смоляных кислот и неомыляемых веществ, которые снижают этот показатель. Поэтому для удаления непрореагировавших веществ, полученная после этерификации реакционная масса промывалась водой в делительной воронке. По истечении 15 минут, полученная смесь

расслаивалась на два слоя. Верхний (углеводородный) слой содержал в себе метиловые эфиры жирных кислот, непрореагировавшие жирные кислоты, смоляные кислоты и неомыляемые вещества. В нижний (водный) слой переходили катализатор и непрореагировавший спирт. Промывание смеси осуществлялось до нейтральной среды по индикатору метиловому-оранжевому.

После проведения этерификации и удаления кислотного катализатора (*n*-ТСК) полученная смесь имела высокое значение кислотного числа, что свидетельствовало о присутствии значительного количества смоляных кислот, а также непрореагировавших жирных кислот в полученных эфирах. Поэтому углеводородный слой далее очищался от кислотных примесей.

В промышленности существуют два основных метода очистки эфиров от присутствующих кислот: дистилляция и щелочная нейтрализация [10]. Процесс дистилляции достаточно сложен в технологическом оформлении. Его необходимо вести под вакуумом для предотвращения полимеризации, изомеризации, окисления и деструкции ненасыщенных кислот и эфиров.

Выводы. Установлено, что наиболее перспективным методом очистки полученных эфиров является щелочная нейтрализация. После проведения которой, метиловые эфиры жирных кислот были испытаны в качестве компонента биотоплива при добавке их традиционному нефтяному дизельному топливу, полученному из нефти.

Список литературы:

1. Кузнецов, Б. Н. Получение жидких топлив и их компонентов из древесной биомассы / Б. Н. Кузнецов // Российский химический журнал. 2003. т. XLVII, № 6. С. 83 – 91.
2. Чельшева, И. Н. Использование отходов переработки древесины при производстве древесно-волоконистых плит / И. Н. Чельшева // ЭКиП: Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 22 – 25.
3. Кузнецов, Б. Н. Растительная биомасса – альтернативное сырье для малотоннажного органического синтеза / Б. Н. Кузнецов, С. А. Кузнецова, В. Е. Тарабанько // Российский химический журнал. 2004 . т. XLVIII, № 3. С. 3
4. Гордон, Л. В. Технология и оборудование лесохимических производств / Л. В. Гордон, С. О. Скворцов, В. И. Лисов. М.: Лесная промышленность, 1988. – 360 с.
5. Селянина, Л. И. Перегонка с водяным паром – эффективный способ регулирования качества таллового масла / Л. И. Селянина, А. Е. Коптелов // Изв. вузов. Лес. ж. 2002. № 5. С. 115 – 123.

6. Селянина, С. Б. Влияние промывки сульфатного мыла на процесс получения таллового масла / С. Б. Селянина, П. О. Шварев // Изв. вузов. Лес. ж. 1996. № 1. С. 157 – 161.
7. Васильева С. А. Разработка и исследование новой конструкции реактора разложения сульфатного мыла / Матер. 13 Коми респ. молод. науч. конф. Сыктывкар. 1997. С. 178.
8. Кнунянц, И. Л. Химический энциклопедический словарь / И. Л. Кнунянц, М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
9. Сырое талловое масло [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rustorgoil.ru/site.aspx?IID=825649&SECTIONID=825648>
10. Изучение кинетических закономерностей реакции жирных кислот таллового масла спиртами n-строения: Методические указания к лабораторной работе / Е. И. Филимонова, В. В. Соловьев, Л. М. Соболева [и др.]. Ярославль: ЯГТУ, 2003. – 19 с