

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Толочко Н.К., Нукашев С.О., Романюк Н.Н., Хлынов В.Н.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО
СЕРВИСА
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия

Нур-Султан 2020

УДК 631.17 (075.8)

ББК 40.72 я73

П75

Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н., Хлынов В.Н.
Прогрессивные технологии технического сервиса в сельском хозяйстве:
учебное пособие. – Нур-Султан: КазАТУ им. С.Сейфуллина, 2020. –
171 с.:

ISBN 978-601-257-251-3

Рецензенты: Акулович Л.М., д.т.н., профессор кафедры технологии металлов учреждения образования Белорусский государственный аграрный технический университет

Бабченко Л.А., д.т.н., ст. преподаватель кафедры "Технологические машины и оборудование" КАТУ им.С.Сейфуллина

Пособие посвящено вопросам повышения эффективности технического сервиса сельскохозяйственной техники, а также используемой в сельском хозяйстве транспортной техники на основе применения прогрессивных технологий. В частности, рассмотрены особенности применения информационных технологий в управлении деятельностью предприятий технического сервиса, информационных и интеллектуальных технологий в диагностике машин, нанотехнологий, интегрированных и аддитивных технологий при упрочнении и восстановлении деталей машин, высокоэнергетических технологий при очистке деталей машин от загрязнений, а также нанотехнологий для улучшения качества смазочных и топливных материалов.

Данное издание предназначено для студентов аграрных и технических вузов, аспирантов и преподавателей, интересующихся проблемами научно-технологического развития агропромышленного производства, а также научных, инженерных и производственных работников, специализирующихся в агропромышленной сфере.

ISBN 978-601-257-251-3

© Толочко Н.К., Нукешев С.О.,
Романюк Н.Н., Хлынов В.Н., 2020.
© КазАТУ им.С.Сейфуллина, 2020.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	6
1.1 Информационные технологии	6
1.2 Интеллектуальные технологии	8
1.3 Нанотехнологии	12
1.4 Интегрированные технологии	14
1.5 Аддитивные технологии	15
1.6 Высокотехнологические технологии	17
ГЛАВА 2 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	19
2.1 Информационная среда предприятий технического сервиса	19
2.2 Организация информационного обеспечения технического сервиса	20
2.3 Информационные службы технического сервиса	23
2.4 Программно-информационная поддержка технического сервиса	25
2.5 Принципы сбора и обработки информации о надежности машин	27
2.6 Информационные системы технического сервиса тракторов	32
2.7 Информационные системы технического сервиса транспортных машин	44
ГЛАВА 3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ МАШИН	52
3.1 Дистанционный контроль технического состояния тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин	52
3.2 Бортовые системы контроля транспортных машин	59
3.3 Интеллектуальные системы диагностики	60
3.4 Интеллектуальное прогнозирование неисправностей	67
3.5 Диагностика сельскохозяйственных машин	69
3.6 Диагностика транспортных машин	74
ГЛАВА 4 ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАНОТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	81
4.1 Интегрированные упрочняющие технологии	81
4.2 Упрочняющие нанотехнологии	90
4.3 Аддитивные технологии восстановления деталей машин	111

ГЛАВА 5 ИНТЕГРИРОВАННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	122
5.1 Интегрированные технологии резки	122
5.2 Интегрированные технологии финишной обработки	128
5.3 Аддитивные технологии изготовления деталей	133
ГЛАВА 6 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	144
6.1 Лазерная очистка	144
6.2 Плазменная очистка	150
6.3 Термоабразивная очистка	153
6.4 Криогенный бластинг	154
6.5.Аэрогидродинамическая абразивная очистка	155
6.6 Кавитационная очистка	157
ГЛАВА 7 СМАЗОЧНЫЕ И ТОПЛИВНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ	162
7.1 Смазочные наноматериалы	162
7.2 Топливные наноматериалы	171
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	174

ВВЕДЕНИЕ

Технический сервис в агропромышленном комплексе (АПК) представляет собой комплекс услуг по обеспечению сельскохозяйственных товаропроизводителей техникой, эффективному использованию и поддержанию ее в работоспособном состоянии в течение всего периода эксплуатации.

Важнейшим направлением развития технического сервиса является повышение его качества на основе применения прогрессивных технологий технического обслуживания и ремонта, для успешного продвижения которых в агропромышленную сферу необходимо обеспечить подготовку соответствующих специалистов. В связи с этим необходимо провести обобщение и систематизацию знаний и опыта по вопросам применения этих технологий для технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Именно этому посвящено предлагаемое пособие, в котором рассматривается современное состояние развития прогрессивных технологий технического сервиса в АПК.

Пособие состоит из 7 глав. В первой главе дается общая характеристика прогрессивных технологий технического сервиса, включая информационные, интеллектуальные, аддитивные, высокоэнергетические, интегрированные технологии, нанотехнологии. Во второй главе изучаются вопросы информационного обеспечения управления предприятиями технического сервиса, роль информационных технологий в улучшении организации технического обслуживания и ремонта сельхозтехники. В третьей главе рассматриваются информационные и интеллектуальные технологии диагностики машин, включая контроль технического состояния и выявление их неисправностей. В четвертой главе рассматриваются интегрированные технологии и нанотехнологии упрочнения, а также аддитивные технологии восстановления деталей машин. В пятой главе изучаются вопросы изготовления запасных деталей машин с помощью интегрированных и аддитивных технологий. В шестой главе рассматриваются высокоэнергетические технологии очистки деталей машин. В седьмой главе описываются свойства смазочных и топливных материалов, получаемых с помощью нанотехнологий.

Пособие предназначено для студентов аграрных и технических вузов. Оно может быть полезно аспирантам, докторантам и преподавателям, интересующимся научно-технологическим развитием агропромышленного производства, а также научным, инженерным и производственным работникам, специализирующимся в агропромышленной сфере.

При написании пособия авторами использовались многочисленные литературные источники (монографии, учебные пособия, научные статьи), список основных из них представлен в конце книги.

ГЛАВА 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

1.1 Информационные технологии

Под информационными технологиями (ИТ) понимают процессы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления и распространения информации.

Информационные технологии реализуются с помощью информационных систем (ИС), представляющих собой упорядоченную совокупность документально оформленных данных, компьютерной и телекоммуникационной техники и программного обеспечения.

В информационных системах протекают следующие процессы:

- ввод информации из внешних или внутренних источников;
- обработка входной информации и представление ее в удобном для пользователей виде;
- вывод информации для представления пользователям или передачи в другие системы;
- процесс обратной связи, т.е. обработка полученной информации с целью коррекции новой входной информации.

Для более эффективной работы с разнообразной по содержанию информацией ее систематизируют и группируют в виде баз данных (БД), представляющих собой совокупности определенным образом взаимосвязанных данных, которые хранятся в памяти компьютера.

Современные ИТ предусматривают создание автоматизированных рабочих мест (АРМ) – комплексов аппаратно-программных средств, располагающихся непосредственно на рабочем месте специалиста и предназначенных для автоматизации его работы. Отдельные АРМ объединяют в локальные вычислительные сети (ЛВС) предприятия, обеспечивающие возможности обмена информацией между специалистами различного профиля, использования единой БД предприятия, подключения к региональным БД, передачи информации руководству предприятия для оценки ситуации и принятия управленческих решений, коллективного использования оргтехники, прикладных программных средств и т.п.

В настоящее время многие предприятия используют информационные системы управления предприятием (ИСУП), которые

обеспечивают повышение эффективности решения различных производственных задач.

В последние годы ИТ получают все большее распространение на предприятиях технического сервиса в АПК, что способствует совершенствованию управления этими предприятиями.

Применение ИТ в техническом сервисе в АПК имеет определенные особенности, связанные с характером организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) сельхозтехники.

Ремонтные предприятия для бесперебойной работы должны быть обеспечены необходимыми материально-техническими ресурсами, а также соответствующим обслуживающим персоналом, имеющим требуемую степень квалификации. Обычно ремонтные предприятия для решения вопросов материально-технического обеспечения используют торгово-проводящие сети централизованных организаций агроснабжения. Существуют и другие организации, занимающиеся материально-техническим обеспечением и различающиеся по видам предлагаемых услуг, категориям обслуживаемых заказчиков и другим параметрам. Все эти организации объединяет общность сферы их деятельности, выражающейся в обработке потоков информации, которая поступает, как от предприятий, занимающихся ТОиР, так и от предприятий, которые непосредственно производят запчасти к сельхозтехнике.

Основной объем работ по ТОиР техники должен выполняться ее владельцами. Поэтому даже в мелких хозяйствах следует создавать производственную базу для мелкого ремонта. Сложные виды ТОиР необходимо проводить в ремонтных мастерских крупных хозяйств и на ремонтных предприятиях.

Районные предприятия технического сервиса могут включать в себя станции ТОиР тракторов, сельхозмашин, автомобилей, мастерские общего назначения, технические обменные пункты и др. Они исследуют спрос и предложения на технику, снабжают хозяйства запчастями, а также другими материально-техническими средствами. Областные предприятия технического сервиса выполняют функции специализированных предприятий по ремонту техники. На базе областных предприятий организуются региональные центры технического сервиса. Они изучают конъюктуру рынка, организует рекламу, продажу и доставку машин, запасных частей и материалов, координирует деятельность сервисных предприятий и дилеров, а также выполняет ряд других функций.

Фирменный технический сервис проводится заводом-изготовителем через центры сервисного обслуживания. Главный центр технического сервиса – торгово-накопительное координирующее

подразделение завода изготовителя, который организует работу по сбыту и проведению ТОиР, изучает конъюктуру рынка и т.д.

Функционирование структурной схемы технического сервиса осуществляется на следующих принципах:

- организация ремонта машин исходя из признания приоритета сельского товаропроизводителя, с учетом региональных особенностей их использования, а также особенностей их конструктивно-технологического исполнения;

- обеспечение экономической заинтересованности в ремонте машин всех участников сельскохозяйственного производства: владельцев машин, ремонтно-технических предприятий, а также заводов, производящих машины и запчасти к ним;

- соблюдение приоритета владельцев в выборе исполнителей ремонта своих машин;

- обеспечение оптимального распределения работ по ТОиР машин между подразделениями ремонтно-обслуживающей базы;

- обеспечение оптимальных пропорций между производством новых машин, запчастей к ним и ремонтно-обслуживающим производством;

- создание условий для экономической заинтересованности заводов-изготовителей в техническом сервисе своей продукции.

Для соблюдения указанных принципов возникает необходимость построения такой структуры управления предприятиями технического сервиса, которая позволял бы им эффективно получать и перерабатывать весь требуемый объем данных в разрезе своей деятельности для повышения результативности своей работы, что невозможно обеспечить без применения современных ИТ.

1.2 Интеллектуальные технологии

Современное понятие интеллектуальных технологий и, соответственно, интеллектуальных систем, с помощью которых эти технологии реализуются, сформировалось в процессе развития теоретических основ кибернетики, теории управления, теории алгоритмов, современных информационных технологий и обобщения накопленных научных знаний в области искусственного интеллекта.

Под интеллектуальными системами понимают технические или программные системы, способные решать интеллектуальные задачи в определенной предметной области.

Существуют различные виды интеллектуальных систем, которые характеризуются присущими им структурными и функциональными особенностями, сферами применения.

Создание интеллектуальных систем в существенной мере связано с развитием информатики, что привело к распространению разнообразных интеллектуальных информационных систем. Основные функции информационных систем: восприятие вводимых пользователем информационных запросов и необходимых исходных данных, обработка введенной и хранимой в системе информации в соответствии с известным алгоритмом и формирование требуемой выходной информации. Для интеллектуальных информационных систем, ориентированных на генерацию алгоритмов решения задач, свойственны развитые коммуникативные способности, т. е. возможности взаимодействия пользователя с системой, а также умение решать сложные плохо формализуемые задачи, которые требуют построения оригинального алгоритма решения в зависимости от конкретной ситуации, характеризующейся неопределенностью и динамичностью исходных данных и знаний.

К интеллектуальным информационным системам, получившим широкое применение, относятся экспертные системы, назначение которых заключается в решении трудных для экспертов задач на основе накапливаемой базы знаний, отражающей опыт работы экспертов в рассматриваемой проблемной области. Экспертные системы обеспечивают возможности принятия решений в ситуациях, когда алгоритм заранее не известен и формируется по исходным данным в виде цепочки рассуждений (правил принятия решений) из базы знаний, причем решение задач предполагается осуществлять в условиях неполноты, недостоверности, многозначности исходной информации и качественных оценок процессов.

Все более широкое использование находят интеллектуальные географические информационные системы (геоинформационные системы, ГИС). В общем случае ГИС – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информацией о необходимых объектах. В техническом отношении ГИС представляет собой набор компьютерного оборудования, географических данных и программного обеспечения для сбора, обработки, хранения, моделирования, анализа и отображения всех видов пространственно привязанной информации. Интеллектуальные ГИС чаще всего строятся на основе экспертных систем. Они позволяют распознавать сложные пространственно соотнесенные ситуации, прогнозировать отдельные события, оценивать их опасность или иные присущие им признаки и выдавать соответствующие рекомендации пользователям. Существуют также интеллектуальные ГИС, которые содержат в своем составе искусственные нейронные сети. Такие ГИС используются для ассоциативного запоминания информации, нелинейного

прогнозирования и моделирования, обработки информации об объектах и процессах.

Особой разновидностью интеллектуальных систем, используемых в производственной сфере, являются адаптивные (самоприспосабливающиеся) системы. С помощью таких систем можно существенно изменять характер управления автоматизированным производством, делать его в наивысшей степени автономным и адаптируемым в отличие от обычного управления посредством компьютерного комплекса, который обрабатывает информацию по заранее известным законам и алгоритмам. Адаптивные системы способны сохранять работоспособность в условиях непредвиденного изменения свойств управляемого объекта, цели управления или условий внешней среды посредством смены алгоритмов своего функционирования или поиска оптимальных состояний. По способам адаптации они разделяются на самонастраивающиеся, самообучающиеся и самоорганизующиеся системы.

В самонастраивающихся системах приспособление к случайно изменяющимся условиям обеспечивается автоматическим поиском оптимальной настройки или автоматическим изменением параметров настройки (в результате контролируемый показатель качества управления поддерживается в заданных пределах).

В самообучающихся системах алгоритм функционирования вырабатывается и совершенствуется в процессе самообучения, который сводится к «пробам» и «ошибкам». При этом система выполняет пробные изменения алгоритма и одновременно контролирует результаты этих изменений. Если результаты оказываются благоприятными с точки зрения целей управления, то изменения продолжаются в том же направлении до достижения наилучших результатов или же до начала ухудшения процесса управления.

В самоорганизующихся системах приспособление к изменяющимся условиям или оптимизация процессов управления достигается изменением структуры системы управления, в частности, включением или исключением отдельных подсистем, качественным изменением алгоритмов управления, связей между подсистемами и схемы их подчинения и т. д.

Развитие робототехники привело к созданию интеллектуальных роботизированных систем.

Интеллектуальный робот – это робот, оснащенный интеллектуальной системой управления. Работа интеллектуального робота основывается на использовании систем искусственного интеллекта, методов нечеткой логики, искусственных нейронных сетей.

Искусственный интеллект – это свойство интеллектуальной системы выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека.

Нечеткая логика – это раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии так называемого нечеткого множества. Нечеткая логика представляет собой набор нестрогих правил, в которых для достижения поставленной цели могут использоваться радикальные идеи, интуитивные догадки, а также опыт специалистов, накопленный в соответствующей области.

Искусственные нейронные сети – это математические модели, а также их программное или аппаратное воплощение, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, вместо этого они обучаются. Возможность обучения – это одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Обучение нейронных сетей заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение.

Широкому распространению интеллектуальных систем в разных областях производственной деятельности способствует использование беспроводных сенсорных систем, в частности, беспроводных сенсорных сетей и систем радиочастотной идентификации.

Беспроводная сенсорная сеть (wireless sensor network, WSN) – это распределенная, самоорганизующаяся сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиосвязи. Использование сравнительно недорогих беспроводных сенсорных устройств открывает широкие возможности для применения систем телеметрии и контроля. Сенсорные сети используются для беспроводного сбора данных, мониторинга и обслуживания машин, контроля окружающей среды, управления безопасностью и во многих других областях.

Радиочастотная идентификация (radio frequency identification, RFID) – это способ автоматической идентификации объектов, в котором дистанционно посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах (приемопередающих устройствах), или RFID-метках.

Значительная роль в распространении интеллектуальных систем отводится средствам навигации, в первую очередь, спутниковым

навигационным системам, которые состоят из совокупности наземного и космического оборудования и предназначены для определения местоположения (географических координат и высоты) и точного времени, а также параметров движения (скорости и направления движения) для наземных, водных и воздушных объектов. Для повышения эффективности спутниковой навигации служит система RTK (Real Time Kinematic, кинематика реального времени) – совокупность приемов и методов получения координат и высот точек местности сантиметровой точности с помощью спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции, принимаемых аппаратурой пользователя во время съемки. В настоящее время работают несколько систем спутниковой навигации, среди которых наибольшее распространение получили системы GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия).

1.3 Нанотехнологии

Под нанотехнологиями понимают совокупность методов и средств, позволяющих контролируемым образом создавать наноматериалы, а также оперировать ими, т. е. применять их по тому или иному назначению. В свою очередь, к наноматериалам относят такие материалы, которые характеризуются нанометровым масштабом размеров хотя бы в одном из трех измерений. При этом нанометровый масштаб размеров может относиться как к образцу материала в целом, так и к его структурным элементам. Соответственно, в первом случае нанообъектами являются непосредственно образцы материалов, во втором – их структурные элементы. Наноматериалы, так же как и обычные материалы, могут находиться в различных агрегатных состояниях.

С понятиями «нанотехнологии» и «наноматериалы» тесно связано понятие «наносистемы». Под наносистемами понимаются устройства, изготовленные с использованием наноматериалов. К наиболее широко распространенным наносистемам относятся наносенсоры.

Приставка «нано» в терминах наномира означает изменение масштаба в 10^9 (миллиард) раз: 1 нм (1 нанометр) = 10^{-9} м. Принято считать, что к объектам наномира относятся такие, характерные размеры которых лежат в пределах от 1 до 100 нм.

Нанотехнологии в общем случае обеспечивают решение следующих взаимосвязанных задач: получение наноматериалов с заданной структурой и свойствами; применение наноматериалов по определенному назначению с учетом их структуры и свойств; контроль (исследование) структуры и свойств наноматериалов в ходе их получения и применения.

Существуют различные виды наноматериалов, каждый из которых характеризуется присущей ему спецификой структуры и свойств. Наноматериалы подразделяются по степени структурной сложности на наночастицы и наноструктурные материалы.

Наночастицы представляют собой наноразмерные комплексы определенным образом взаимосвязанных атомов или молекул. Наибольшее распространение получили кристаллические наночастицы, или нанокристаллы. Они характеризуются упорядоченным расположением атомов или молекул и сильными химическими связями – подобно массивным кристаллам. Их размеры могут составлять 10 нм и более.

Наноструктурные материалы представляют собой ансамбли наночастиц. В таких материалах наночастицы играют роль структурных элементов. Наноструктурные материалы подразделяются по характеру взаимосвязи наночастиц на консолидированные наноматериалы и нанодисперсии.

Консолидированные наноматериалы – это компактные твердофазные материалы, состоящие из наночастиц, которые имеют фиксированное пространственное положение в объеме материала и жестко связаны непосредственно друг с другом. К консолидированным наноматериалам относятся нанокристаллические материалы, нанокompозиты (матричные и слоистые) и нанопористые материалы. Нанодисперсии представляют собой дисперсные системы с наноразмерной дисперсной фазой. К нанодисперсиям относятся указанные выше матричные нанокompозиты и нанопористые материалы, а также нанопорошки, наносuspензии, наноэмульсии и наноаэрозоли.

В последние годы нанотехнологии все более широко распространяются в различных отраслях АПК, в частности, в техническом сервисе наметился ряд прогрессивных направлений повышения эффективности машин, связанных с применением различных наноматериалов. К наиболее распространенным конструкционным наноматериалам относятся нанокристаллические и нанокompозиционные материалы, обладающие улучшенными механическими свойствами. Для изготовления определенных типов деталей служат нанопористые материалы. Для повышения надежности деталей машин их поверхность подвергают наномодифицированию, а также наносят на поверхность нанопокpытия, выполняющие упрочняющие, защитные и некоторые специальные функции. Для снижения износа деталей узлов трения используют смазочные наноматериалы, для повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания – топливные наноматериалы.

1.4 Интегрированные технологии

В последние годы для обработки материалов все шире применяются интегрированные (комбинированные, гибридные) технологии, которые представляют собой интеграцию двух или более технологий, характеризующихся различными по своей природе процессами, лежащими в основе каждой из этих технологий.

Отдельные технологии в рамках интегрирования могут реализовываться параллельно, последовательно или параллельно-последовательно.

Эффекты, получаемые в результате интегрирования разных технологий обработки, могут быть различными по характеру своего достижения – в зависимости от той роли, какую играют отдельные технологии в рамках интегрирования. По этому признаку интегрированные технологии можно условно разделить на два типа.

К интегрированным технологиям обработки первого типа относятся такие, которые представляют собой сочетание технологий, из которых одни (основные) являются собственно технологиями обработки, дающими определенные эффекты обработки (например, разрезание, снижение шероховатости, упрочнение), в то время как другие (вспомогательные) только лишь способствуют реализации основных технологий.

Пример тому – электромеханическая обработка, согласно которой в зоне стружкообразования осуществляется локальный нагрев электрическим током, что ведет к снижению контактных нагрузок на переднюю и заднюю поверхности режущего инструмента, увеличению стойкости инструмента и производительности обработки.

Другой подобный пример – плазменно-механическая обработка, заключающаяся в том, что при обработке резанием высокопрочных материалов перед резцом устанавливается плазмотрон, нагревающий узкую зону обрабатываемого материала. Поскольку при нагреве прочность обрабатываемого материала снижается, а пластичность увеличивается, то без ущерба для качества поверхности можно увеличить подачу и глубину резания.

В этих примерах термическая обработка (электрический или плазменный нагрев) поверхности детали улучшает условия обработки резанием, но при этом не приводит к упрочняющему эффекту, что обычно характерно для технологий термического упрочнения.

К интегрированным технологиям обработки второго типа относятся такие, которые представляют собой сочетание технологий, каждая из которых в отдельности обеспечивает те или иные эффекты обработки. Так, интегрированной технологией обработки второго типа является термомеханическая обработка, которая совмещает в себе две

технологии – пластическое деформирование и термическую обработку, каждая из которых в отдельности обеспечивает эффекты упрочнения (в результате наклепа и закалки).

Существует большое разнообразие интегрированных технологий обработки. В техническом сервисе все возрастающая роль отводится интегрированным технологиям упрочняющей обработки.

1.5 Аддитивные технологии

Аддитивные технологии – это обобщенное название технологий быстрого изготовления трехмерных (3D) изделий непосредственно по их электронным моделям путем последовательного (последовательного) добавления (наращивания) материала. Свое название (в буквальном переводе с английского – «добавляющие») они получили от английского слова «add» (добавлять) – в противоположность традиционным «вычитающим» технологиям, предусматривающим достижение требуемой формы изделия путем удаления («вычитания») материала с заготовки в результате ее механической, электроэрозионной и т.п. обработки. Сокращенно их называют АМ-технологиями (от англ. Additive Manufacturing – аддитивное производство).

Существуют разные виды АМ-технологий, однако все они реализуются по общей схеме в виде следующей последовательности операций: построение 3D-модели изделия в САД-системе; экспорт 3D-модели в STL-файл; разделение 3D-модели на горизонтальные сечения (слои) с помощью специальной программы-слайсера; 3D-печать – последовательный синтез натурального объекта (изделия) по данным САД-модели, считываемым 3D-принтером с STL-файла; финишная обработка полученного изделия.

АМ-технологии наиболее широко применяются в машиностроении. Они позволяют создавать детали машин со сложным, криволинейным профилем, которые трудно изготовить обычной станочной обработкой, например, лопатки турбин, лопасти пропеллеров и шнеков, кулачки и т.п. Их используют для изготовления формообразующей оснастки (для литья, штамповки и т.д.).

Известно большое число видов АМ-технологий, которые различаются не только процессами создания 3D-изделий, но конструкциями и принципами функционирования 3D-принтеров. Краткая характеристика некоторых из них дана ниже.

SLA, Stereolithography Apparatus – слой жидкого фотополимера, образованный над платформой, погруженной в залитый фотополимером бак, селективно затвердевает под действием луча ультрафиолетового лазера, сканирующего поверхность слоя, в

результате чего создается первый слоистый элемент изделия; затем платформа погружается в бак, так что над этим элементом образуется новый слой жидкого фотополимера, который также селективно затвердевает, и т.д. до полного построения изделия.

3DP, Three Dimensional Printing – порошок металла, полимера, стекла или др. материала наносится послойно на платформу, на каждый слой с помощью струйной головки селективно каплями подается связующее, которое связывает (склеивает) частицы порошка между собой и с предыдущими слоями.

MJM, Multi-Jet Modeling – жидкий фотополимер или нагретый до полужидкого состояния термопластичный полимер подается каплями через многосопловую головку непосредственно в место построения изделия, где он затвердевает под действием излучения ультрафиолетовой лампы или в результате охлаждения.

FDM, Fused Deposition Modeling – волокно из термопластичного полимера, нагретое до полужидкого состояния, подается послойно непосредственно в место построения изделия, где нанесенные слои соединяются между собой и затвердевают в результате охлаждения.

MJS, Multiphase Jet Solidification – процесс осуществляется по аналогии с FDM, отличие состоит в том, что в место построения изделия подается пастообразная смесь металлического порошка и связующего (пластификатора), которая выдавливается через подогреваемый экструдер.

SLS, Selective Laser Sintering – металлический или полимерный порошок наносится послойно на платформу, каждый слой подвергается селективному спеканию лазерным лучом, сканирующим поверхность слоя.

SLM, Selective Laser Melting – процесс осуществляется по аналогии с SLS, отличие состоит в том, что металлический порошок под действием лазерного луча подвергается не спеканию, а переплавке.

LMD, Laser Metal Deposition – металлический порошок или проволока подается непосредственно в место построения изделия и подвергается лазерной послойной наплавке.

LENS, Laser Engineered Net Shape – процесс осуществляется по аналогии с LMD, отличие состоит в том, что в зону лазерного плавления может подаваться не один вид, а два или более видов металлических порошков, в результате создаются изделия с градиентным составом.

EBM, Electron Beam Melting – процесс осуществляется по аналогии с SLM, отличие состоит в том, что металлический порошок подвергается переплавке под действием не лазерного, а электронного луча (в вакуумной камере).

АМ-технологии применяются в основном для изготовления деталей машин, включая запасные детали. Другим важным направлением их применения является восстановление деталей, подвергнутых изнашиванию, сколам, поломкам.

1.6 Высокоэнергетические технологии

К высокоэнергетическим технологиям относятся различные виды технологий, в основе которых лежат процессы, связанные с высокоэнергетическими воздействиями. Наиболее широко распространены высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов, основанные на использовании концентрированных потоков энергии. К ним относятся лазерная, электронно-лучевая, плазменная, высокочастотная индукционная и некоторые другие виды термической обработки, обработка высокоскоростными газовыми или жидкостными струями, в том числе содержащими твердые частицы и т.д.

В техническом сервисе высокоэнергетические технологии традиционно применяют для упрочнения и восстановления деталей машин, в частности, путем нанесения на их поверхность газотермических и наплавочных покрытий. В последние годы высокоэнергетические технологии находят все большее применение для очистки поверхностей деталей машин от различных загрязнений.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой информационные технологии?
2. Что представляют собой информационные системы?
3. Что представляют собой интеллектуальные технологии?
4. Что представляют собой интеллектуальные системы?
5. Назовите разновидности интеллектуальных систем.
6. Что представляют собой нанотехнологии?
7. Что представляют собой наноматериалы?
8. Назовите разновидности конструкционных наноматериалов с улучшенными механическими свойствами.
9. Что представляют собой интегрированные технологии?
10. Назовите типы интегрированных технологий в зависимости от той роли, которую играют отдельные технологии в рамках интегрирования?
11. Что представляют собой аддитивные технологии?
12. В какой общей последовательности операций реализуются аддитивные технологии?

13. Что представляют собой высокоэнергетические технологии обработки материалов?

14. Назовите разновидности высокоэнергетических технологий получения и обработки материалов.

ГЛАВА 2

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

2.1 Информационная среда предприятий технического сервиса

Информационная среда предприятий технического сервиса в АПК представляет собой совокупность разнообразных информационных потоков, схема формирования и движения которых показана на рисунке 2.1. Основное содержание информации в этих потоках определяется особенностями функционирования предприятий технического сервиса.

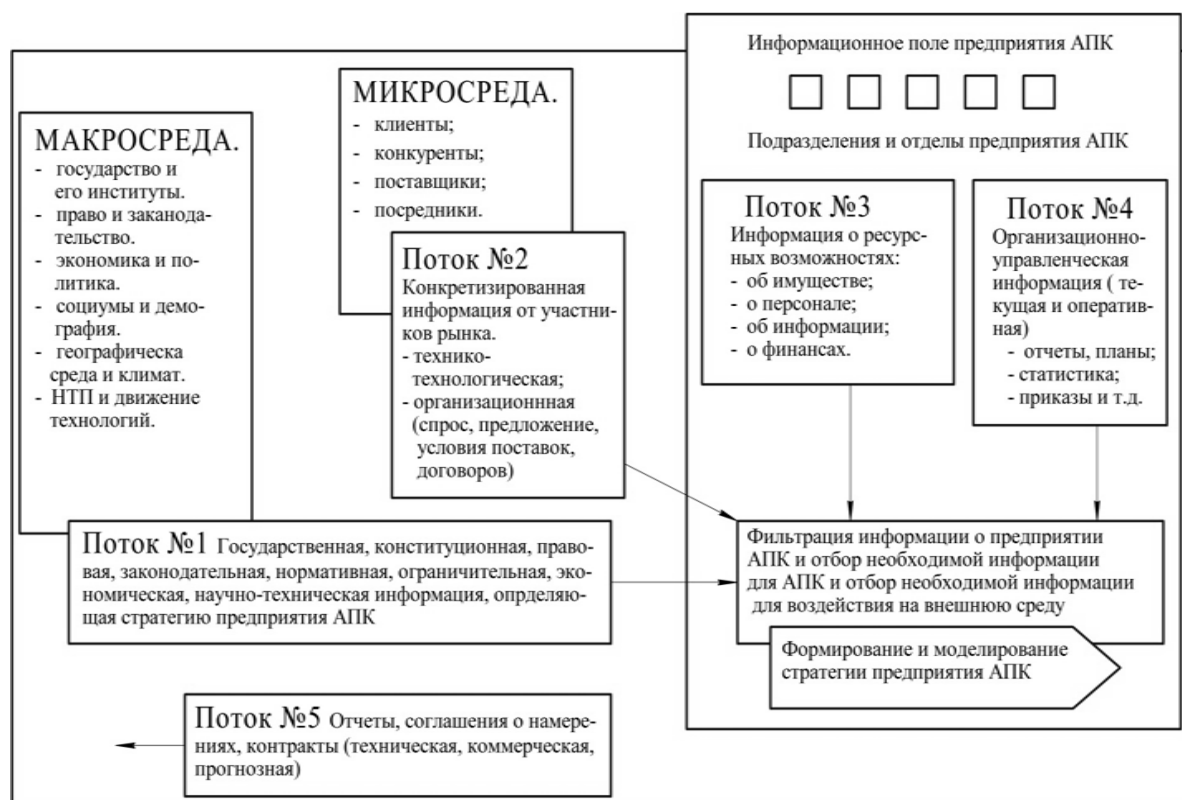


Рисунок 2.1 - Схема формирования и движения информационных потоков предприятий технического сервиса

При решении задач информатизации предприятий технического сервиса важная роль отводится разработке эффективных методик создания и использования баз данных. Во время проведения ТОиР специалистам необходима справочно-нормативная и статистическая информация об обслуживаемом объекте. Для быстрого поиска требуемой информации необходимо иметь достаточно полную и удобную в использовании базу данных, которая должна постоянно пополняться результатами проведенных работ, отражаемыми в

соответствующих рабочих документах. Каждый документ должен иметь свои реквизиты для удобства поиска документа, которые необходимо сохранять в базе данных вместе с текстом документа. Обычно реквизиты присваиваются документу работником информационного отдела при вводе документа в базу данных. Типичными реквизитами документов предприятия являются: наименование предприятия – автора документа, название вида документа, заголовок к тексту документа – название документа, дата документа, индекс (номер) документа, текст документа, тематика документа.

В информационной системе предприятия технического сервиса особое место занимает подсистема сбора, хранения и первичной обработки текстовой информации, с которой могут работать следующие группы пользователей: специалисты подразделения технического сервиса предприятия; специалисты информационного отдела, осуществляющие ввод входящей информации в подсистему; администратор подсистемы.

При работе с данной подсистемой каждая группа пользователей выполняет определенные функции. Специалисты подразделения технического сервиса осуществляют: просмотр тематик, на которые каждый из специалистов имеет права доступа; добавление и изменение документов в этих тематиках, если есть права доступа на выполнение данной задачи; поиск документов по их реквизитам в тематиках, в которые разрешен доступ; устанавливание закладок и ссылок на документы и др. В свою очередь, специалисты информационного отдела просматривают все документы в подсистеме; добавляют в подсистему входящую информацию; изменяют документы в подсистеме; добавляют новые и удаляют ненужные тематики; добавляют новые и удаляют ненужные виды документов; поиск документов по реквизитам и др. Наконец, администратор подсистемы может изменять настройки подсистемы сбора, хранения и первичной обработки текстовой информации, назначать права доступа специалистам подразделения технического сервиса и информационного отдела. Также он может выполнять все функции этих специалистов.

2.2 Организация информационного обеспечения технического сервиса

Решение задач по информационному обеспечению работы предприятий технического сервиса требует проведения определенных изменений в их организационной структуре. В частности, признано целесообразным введение в структуру управления инженерной службой предприятия информационно-аналитического отдела, что

может позволить руководству и специалистам предприятия эффективно получать и перерабатывать весь необходимый объем данных по вопросам технического сервиса.

Создание необходимого информационного обеспечения возможно при использовании современных методов управления, базирующихся на применении компьютерной и организационной техники, а также экономико-математических методов. Компьютеризация производственной и управленческой деятельности становится наиболее эффективной при создании автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Эффективность использования АРМ повышается при объединении их в единую вычислительную сеть. Функционирование таких сетей целесообразно на основе иерархической структуры управления. На нижнем уровне (на предприятиях) устанавливаются персональные компьютеры, имеющие локальный банк данных и подключаемые к локальной вычислительной сети (ЛВС) районного уровня. В свою очередь, районная сеть АРМ имеет выход на высший уровень управления.

Для выработки общей методологии совершенствования организации технического сервиса перспективно применять системный подход, согласно которому предприятие технического сервиса рассматривается как обособленная структура, состоящая из различных элементов, взаимодействующих между собой и с внешней средой.

На рисунке 2.2 представлена организационная система технического сервиса на уровне района, разработанная с учетом современных особенностей, перспектив развития и требований к ТОиР. Эта система состоит из ряда подсистем, совокупность взаимодействия которых на основе информационного обеспечения позволяет в итоге повысить эффективность использования машин и уровень их надежности.

На рисунке 2.3 представлена подсистема задач технического сервиса, на решение которых существенное влияние оказывает разработанное информационное обеспечение.

Поскольку ТОиР – одна из основных составляющих общей системы технического сервиса, то особое значение имеет внедрение информационного обеспечения в систему ТОиР.

В системе ТОиР можно выделить собственно деятельность, представляющую собой ремонтно-обслуживающее воздействие и управление, и информационное обеспечение этой деятельности. Доля информационного обеспечения во всем ремонтно-обслуживающем воздействии составляет около 15%, в то время как доля информационного обеспечения в процессе принятия решения – не менее 80%. За счет рационального использования информационных потоков можно сократить время ремонтно-обслуживающего

воздействия и процесса принятия решения на 20-25% и при этом повысить качество эксплуатируемой техники.

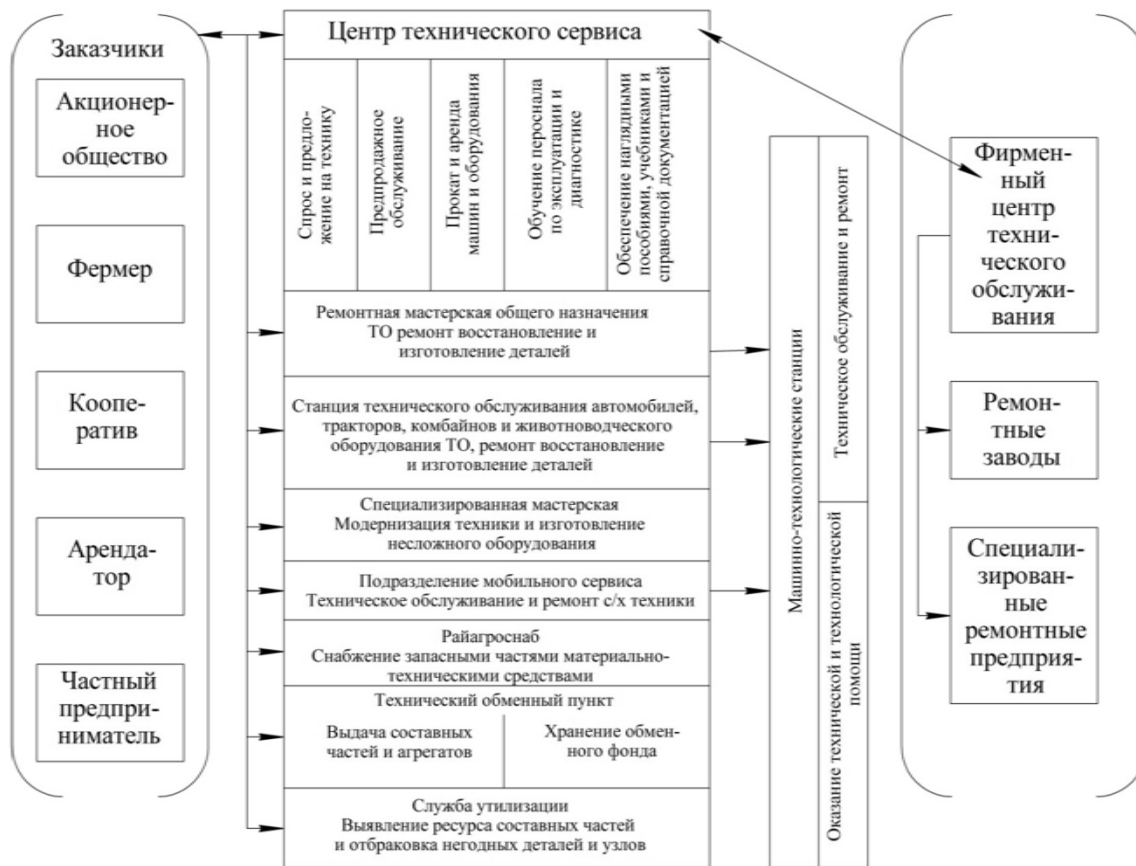


Рисунок 2.2 - Организационная система технического сервиса районного уровня

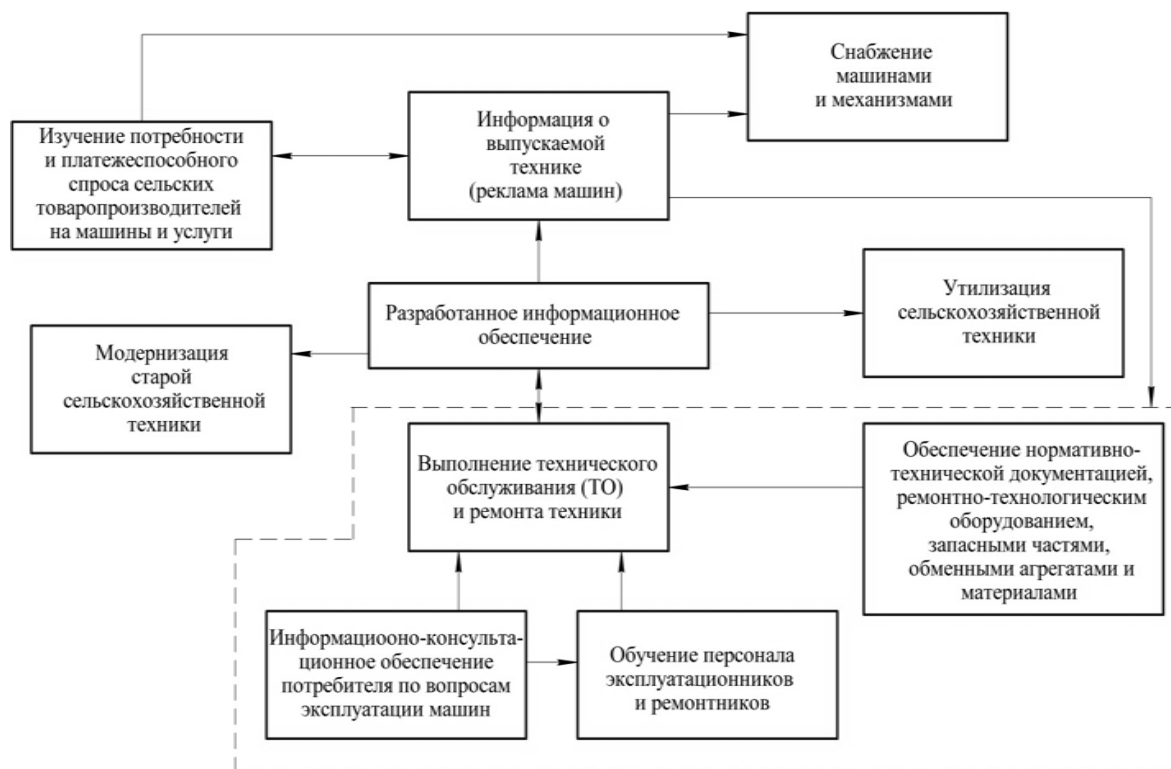


Рисунок 2.3 - Взаимосвязь информационного обеспечения и задач технического сервиса

2.3 Информационные службы технического сервиса

По мере развития рыночных отношений у работников АПК возникает потребность в получении информации о новой технике, технологиях, передовом производственном опыте и т.п. При этом в условиях постоянно возрастающих информационных потоков сельхозпроизводители сталкиваются с проблемами поиска, отбора и использования необходимой им информации об инновациях. Для решения этих проблем создаются специальные информационно-консультационные и информационно-маркетинговые службы.

Задачи информационно-консультационной службы по техническому сервису заключаются в следующем:

- повышение эффективности технического сервиса на основе использования достижений научно-технического прогресса, передового производственного опыта и оказание консультационных услуг по техническим, технологическим и организационно - экономическим вопросам;

- оказание содействия сельхозпроизводителем в освоении новой техники и технологий, передового опыта в техническом сервисе;

- сбор, обработка и доведение до сельхозпроизводителей интересной для них технической информации;

- повышение уровня знаний и практических навыков сельхозпроизводителей и сельского населения по новой сельскохозяйственной технике и технологиям;
- информационное обеспечение органов государственного регулирования технического сервиса.

На основе анализа опыта организации консультативных служб по вопросам технического сервиса можно сделать вывод и необходимости иметь две группы консультантов: 1) консультанты общего профиля, непосредственно контактирующие с сельхозпроизводителями, и 2) консультанты, специализирующиеся по различным направлениям технического сервиса сельхозтехники. Консультанты первой группы изучают финансово-экономическое состояние и производственную деятельность хозяйства, вырабатывают рекомендации по улучшению его деятельности. В свою очередь, консультанты второй группы специализируются на отдельных вопросах организации сельскохозяйственного производства, в частности, на вопросах развития системы технического сервиса и повышения эффективности эксплуатации сельхозтехники.

Таким образом, рассмотренные информационно-консультационные службы позволяют решать проблемы интеллектуальной технической поддержки сельхозпроизводителей, руководителей и специалистов предприятий технического сервиса сельхозтехники, поднять их профессиональный уровень и на этой основе повысить эффективность использования сельхозтехники.

Наряду с информационно-консультационными службами в системе технического сервиса сельхозтехники создаются и эффективно функционируют информационно-маркетинговые службы, учредителями которых являются заводы-изготовители, дилерские предприятия и др.

Маркетинг в АПК отличается от других видов маркетинга, что связано с такими особенностями сельского хозяйства, как зависимость его результативности от природных условий, роль и значимость товара, разнообразие форм собственности, несовпадение рабочего периода и периода производства, сезонность производства и получения продуктов и т.д.

В сфере АПК имеется два вида маркетинга:

- маркетинг средств производства и услуг, участниками которого являются заводы-изготовители, фирмы-посредники, дилерские центры, предприятия технические сервисы, а также предприятия-потребители машин, оборудования, ГСМ и т.д.;
- маркетинг сельхозпродукции, в котором участвуют сельхозпроизводители, заготовительные, перерабатывающие и торговые предприятия, а также потребители сельхозпродукции.

В задачи маркетинга в АПК входит определение спроса на сельхозтехнику с учетом ее вида, количества, технико-экономических показателей; оценка качества ТОиР; изучение платежеспособности потребителей.

Для повышения эффективности деятельности предприятий технического сервиса могут быть реализованы следующие маркетинговые подходы по управлению спросом на оказываемые ими производственные услуги:

а) сезонное изменение профиля и поля деятельности отдельных подразделений предприятия;

б) применение дифференцированных и гибких цен на услуги технического сервиса, что позволяет сместить определенную часть растущего спроса на них с середины периода полевых работ на его начало или конец;

в) совмещение профессий и функций производственно-технического и инженерного персонала предприятия для выполнения наибольшего объема услуг в периоды максимального спроса на них;

г) активизация мероприятий, направленных на повышение спроса на производственные услуги;

д) формирование нормальной конкурентной среды.

Таким образом, информационно-маркетинговые службы способствуют повышению эффективности технического сервиса сельхозтехники.

2.4 Программно-информационная поддержка технического сервиса

Планирование технического сервиса

Известны различные системы информационной поддержки технического сервиса, однако большинство их не обладает достаточной достоверностью при сравнении с реальными планами работ по ТОиР. Они являются преимущественно системами программного сопровождения процессов ТОиР, в них реализовано планирование либо на основе регламентных работ, либо на метрических методах поддержки принятия решений и поэтому не подходят для решения задач качественной оценки постановки оборудования на предупредительное обслуживание.

Для устранения указанных недостатков разработана система информационной поддержки принятия решений при планировании ТОиР, основанная на многокритериальном планировании, которое наряду с экспертным формированием целевых постановок высококвалифицированными специалистами, способно к объективному и формализованному решению задач, т.е. установлению очередности постановки однородных групп оборудования на ТОиР по заранее

принятым критериям оценки состояния оборудования. Критерии включают конструктивные и эксплуатационные показатели оборудования и сформированы на основании обобщенных экспертных мнений. Построение очередей ТОиР ведется на основе предварительного установления порядка указанных показателей для однородных объектов. С учетом принятых критериев разработана информационная модель паспорта оборудования, учитывающая мнения экспертов с использованием балльных оценок. Кроме того, с использованием информационной модели паспорта оборудования разработано математическое и алгоритмическое обеспечение системы принятия решений по выводу оборудования на ТОиР.

Информационная поддержка определения очередности ТОиР осуществляется с помощью программной системы, для которой входными данными и соответствующими источниками внешних данных являются:

1) информация по обслуживаемому оборудованию: его тип, производственное назначение, технические характеристики, нормативные данные, время ввода в эксплуатацию и наработку;

2) данные по организационной структуре эксплуатирующего предприятия, по имеющимся трудовым и техническим ресурсам, позволяющие оперативно решать вопросы по загрузке ремонтных служб;

3) экспертные оценки ремонтпригодности оборудования, на основании которых проводится сравнение критериев с последующим формированием очереди на ТОиР.

На основании входных данных программная система формирует паспорта оборудования, содержащие информацию по идентификации (наименование, инвентарный и заводской номера и т.п.), техническим характеристикам и значениям его коэффициентов ремонтпригодности, задаваемым экспертами. Выходными данными является очередь на ТОиР, сформированная на основании имеющихся паспортов оборудования и отобранных критериев ремонтпригодности, необходимых для оценки.

Разработанная программная система готовит экономико-технические отчеты и заявки, применяемые предприятием для последующего информационного сопровождения ремонтных работ. Данные оцениваются сотрудниками предприятия, анализирующих результаты расчета и формирующих график плановых работ по ТОиР на основании данных полученных системой.

Автоматизация технического сервиса

Повышению эффективности работ по ТОиР способствует их автоматизация, для осуществления которой может быть использована методика, призванная решать следующие задачи:

- выделение объекта ТОиР;
- выделение направлений ТОиР;
- выявление субъектов ТОиР, должностных обязанностей и функций служб ТОиР;
- исследование документации по ТОиР;
- исследования состава оборудования и объектов ТОиР;
- выявление видов и состава работ по ТОиР;
- описание процессов ТОиР.

Основными показателями системы ТОиР являются:

- объекты ТОиР;
- структура работ по ТОиР;
- сроки выполнения работ по ТОиР;
- затраты на производство работ по ТОиР;
- объем платежных средств необходимых для производства работ по ТОиР.

В системе автоматизации ТОиР предусматривается следующий набор функций программно-информационной поддержки:

- ведение информации о ремонтных службах и объектах ТОиР в электронном виде (паспорт оборудования, история работы с оборудованием, технологическая и организационная структура, информация о материальных ресурсах, информация о сотрудниках);
- ведение электронного журнала проведенных работ по ТОиР (информация о составе проведенных плановых и внеплановых работ по ТОиР, затраченных ресурсах и трудозатратах);
- автоматизированное составление планов проведения работ по ТОиР в электронном виде (добавление в электронный план работ, ресурсов и трудозатрат, автоматизация процесса составления планов с помощью заготовок-шаблонов работ, формирование документов «план работ»);
- автоматизированный расчет стоимости работ по ТОиР.

Предложенная методика программно-информационной поддержки технического сервиса может быть использована ремонтными предприятиями при проведении ТОиР.

2.5 Принципы сбора и обработки информации о надежности машин

Надежность машины – это ее свойство сохранять во времени в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции при определенных

условиях применения, технического обслуживания и ремонта, хранения и транспортирования. Надежность машин закладывается при их проектировании, обеспечивается в процессе изготовления и реализуется при эксплуатации.

Надежность является основным показателем качества машин, поэтому необходимо уделять повышенное внимание вопросам сбора и обработки информации о надежности (СОИН) машин.

СОИН проводят для получения данных, необходимых при совершенствовании конструкции автомобилей, технологии их изготовления, правил и методов эксплуатации и ремонта, контроля показателей надежности.

Задачами СОИН являются: выявление конструктивных и технологических недостатков изделия, снижающих его надежность, а также недостатков в организации эксплуатации и ремонта; установление элементов и составных частей, лимитирующих надежность изделия; уточнение критериев отказов, предельных состояний и норм расхода запчастей; оценка эффективности мероприятий по повышению надежности изделий.

СОИН проводят в соответствии с требованиями отраслевой нормативно-технической документации (НТД), которая устанавливает: структуру системы сбора и обработки информации в данной отрасли; методы планирования наблюдений и обработки информации, определение значений показателей (объективность собранной информации), надежность сбора информации требования к программам наблюдений по видам изделий; техническое обеспечение сбора и обработки информации; порядок разработки мероприятий, оценки эффективности использования информации на предприятиях отрасли; правила передачи и обмена информации; способы автоматизации работ.

СОИН организуют в рамках одной отрасли или между несколькими отраслями. Для организации СОИН министерства (ведомства) назначают головные организации, перед которыми стоят следующие основные задачи: разработка структуры СОИН; разработка НТД по сбору и обработке информации в соответствии с установленными требованиями; научно-методическое руководство при решении задач планирования наблюдений и обработки информации; контроль за внедрением системы; ведение банка данных о надежности изделий.

При организации СОИН в рамках отрасли головная организация разрабатывает проект приказа по министерству (ведомству), которым определяется состав базовых организаций (по видам техники), ответственные за сбор и обработку информации по данному виду техники, а также правовая и юридическая ответственность всех звеньев

системы. Информацию собирают и обрабатывают с участием организаций-разработчиков изделий, предприятий-изготовителей изделий, эксплуатирующих и ремонтных организаций.

Организации-разработчики изделий проводят: сбор и обработку информации о надежности опытных (экспериментальных) образцов изделий; анализ причин отказов и предельных состояний изделий; обработку информации о надежности изделий, поступающей от ремонтных, эксплуатирующих организаций и предприятий-изготовителей; формирование массивов данных итоговой информации. Итоговая информация периодически направляется в головную организацию по сбору и обработке информации в виде итоговых документов (отчетов, сводных форм итоговой информации и т.д.), содержащих обобщенные данные о надежности изделий за отчетный период.

Предприятия-изготовители изделий проводят сбор и обработку первичной информации о надежности серийно изготавливаемой продукции и анализ причин отказов изделий в период гарантийного срока. Эксплуатирующие и ремонтные организации осуществляют сбор первичной информации о надежности изделий (после гарантийного срока эксплуатации).

Типовая схема СОИН показана на рисунке 2.4.

Программы наблюдений для конкретных изделий составляются в соответствии с техническим заданием на проведение сбора и обработки информации. Программа наблюдений определяет: цели и задачи сбора информации; перечень наблюдаемых изделий; число изделий; продолжительность наблюдаемых изделий; номенклатуру показателей, по которым собирают информацию; периодичность обследований и сроки проведения работ; количество и территориальное расположение мест сбора информации; требования к методам сбора и обработки информации, а также к методам учета воздействий внешних возмущающих факторов и режимов эксплуатации; периодичность обобщения первичной информации, подготовки итоговых данных и рассылки их заинтересованным организациям и предприятиям; периодичность и формы отчетности; перечень предприятий и организаций, от которых поступает информация и в которые следует направлять собранные и обработанные данные.



Рисунок 2.4 - Типовая схема организации сбора и обработки информации о надежности автомобилей

1 – первичная информация о надежности изделий в эксплуатации; 2 – обработанная информация для разработки мероприятий по повышению надежности; 3 – обратная информационная связь

Периодичность обследований зависит от решаемой задачи и должна предотвращать потери информации. Количество и территориальное размещение мест сбора информации устанавливаются с учетом типа, назначения и объема производства изделий; условий и режима эксплуатации изделий; количества изделий в эксплуатационном предприятии.

Сбор информации должен предусматривать проведение постоянных, периодических и (или) разовых наблюдений за изделиями во время эксплуатации. Его осуществляют на основании: данных учета, проводимого эксплуатационными и ремонтными предприятиями; результатов наблюдений за изделиями в эксплуатации; применения опросных листов (экспертных методов).

В ходе сбора информации обследуют техническое состояние изделия на месте его эксплуатации (в т. ч. ремонта), осматривают и при необходимости исследуют отказавшие составные части, изучают и анализируют эксплуатационные и ремонтные документы, акты расследования аварий и рекламаций. Результаты обследования отражают в документах первичной информации о надежности, таких как: донесения об отказах, журналы технического состояния, учета

простоев оборудования, технического обслуживания и ремонта и т.д. Дополнительно используются научно-технические отчеты по результатам анализа технического состояния и надежности изделий, которые находятся в эксплуатации и поступают в капитальный ремонт на ремонтные предприятия, а также материалы (протоколы, отчеты) о результатах эксплуатационных испытаний в испытательных центрах. Выбор эксплуатационных предприятий проводят исходя из того, что они должны обеспечивать получение данных для типичных условий эксплуатации, предусмотренных НТД.

Первичная информация о надежности изделия включает: сведения о месте и условиях эксплуатации; общие сведения об изделии; характеристику отказов. Сведения о месте и условиях эксплуатации регистрируют один раз в начале наблюдений и при изменении отдельных характеристик уточняют в процессе наблюдений. В этих сведениях указывают: название и адрес предприятия; внешние условия (дорожные покрытия, температурные условия, влажность среды, химическую активность и т.д.); условия использования изделия (загрузку, непрерывность или цикличность работы и т.п.); характеристику ремонтной и обслуживающей базы, системы технического обслуживания и ремонта; условия хранения изделий.

Общие сведения об изделии включают: марку (модель) изделия; заводской номер; год выпуска и проведения последнего ремонта; дату и наработку на начало наблюдений и по окончании наблюдений; причину прекращения наблюдений; конструктивные особенности изделия.

Характеристика отказов содержит следующую информацию: дату возникновения отказов; наработку изделия, при которой произошёл отказ; наработку до отказа составной части; наименование отказавшей составной части, ее заводской номер и номер по каталогу или по ведомости комплектации, место установки и порядковый номер (если таких составных частей в изделии несколько); внешнее проявление (признак) отказа; причину возникновения отказа; способ устранения, число и наименование заменённых составных частей; продолжительность и трудоёмкость поиска и устранения отказа; условия, при которых произошёл отказ; фамилию и должность лица, заполнившего документ первичной информации, дату.

Формы сообщений о надежности должны обеспечить возможность кодирования всех данных для машинной обработки, они подразделяются на первичные, формы-накопители информации и формы записи результатов количественного и качественного анализа надёжности.

Обработка информации включает: классификацию и кодирование исходных данных; контроль полноты, достоверности и однородности информации; внесение уточнений в исходные данные; копирование

исходной информации; перевод содержания исходной информации на машинные носители; оценку показателей надежности; классификацию причин отказов и предельных состояний по видам, связанным с изготовлением, ремонтом и эксплуатацией, и их анализ; подготовку исходных данных для разработки мероприятий, направленных на выявление недостатков и повышение надежности изделий в эксплуатации.

В ходе анализа причин отказов и предельных состояний проводят: систематизацию первичной информации по принятым признакам (условиям эксплуатации, наработке, виду отказавших составных частей и т.п.); выявление составных частей, лимитирующих надежность изделия; установление причин отказов; оценку эффективности конструкторско-технологических и (или) организационных мероприятий; определение законов распределения и оценку показателей надежности по статистическим данным; обработку информации о расходе запасных частей; выявление и систематизацию причин и продолжительности простоев изделий; сопоставление полученных данных с нормативами и данными по изделиям-аналогам; анализ и систематизацию данных об отказах комплектующих составных частей; выявление случаев нарушения требований эксплуатационной документации; разработку рекомендаций по устранению выявленных недостатков и дальнейшему повышению надежности изделий.

Информация о надежности автомобилей должна удовлетворять следующим требованиям: полнота информации, достоверность информации, своевременность информации, непрерывность информации, простота учетных форм для сбора информации. Также следует отмечать режимы работы автомобиля и условия его эксплуатации, учитывая квалификацию обслуживающего персонала, условия хранения, транспортировки и эксплуатации автомобилей, качество применяемых эксплуатационных материалов и т.п.

Статистическую информацию о надежности изделий можно получить и другими путями: посещением мест эксплуатации изделий инженерами-испытателями предприятий-изготовителей; рассылкой на места эксплуатации листов, карт и иной документации, которую заполняют эксплуатационники и высылают предприятию-изготовителю; проведением ресурсных испытаний и др.

2.6 Информационные системы технического сервиса тракторов

Практика показывает, что время простоев тракторов, вызванное техническими причинами, составляет 25-30% от общего рабочего времени, вследствие чего удлиняются сроки выполнения полевых

работ, увеличиваются потери сельскохозяйственной продукции, снижаются показатели эффективности производства. Один из путей сокращения таких простоев – поддержание тракторов в работоспособном состоянии.

Техническое состояние тракторов во многом определяется качеством технического обслуживания (ТО). При выполнении ТО используются довольно сложные технические средства, разнообразные инструменты и материалы, сами же операции ТО характеризуются высокой сложностью и информационной насыщенностью. Все это требует от исполнителей работ по ТО умения оперировать большими объемами постоянно изменяющейся информации.

Система ТО состоит из совокупности средств, документации по организации и выполнению операций технического обслуживания и исполнителей. К документам, используемым при проведении ТО, относятся «Руководство по эксплуатации», «Технологические карты технического обслуживания», «Технологические карты технического диагностирования» и др. Затраты времени при проведении ТО, связанные с получением задания, инструктажем и ознакомлением с технической документацией, составляют 25% от общего времени ТО.

Обычно до недавнего времени используемая нормативно-техническая документация по ТО тракторов разрабатывалась без учета возможностей современных информационных технологий. В этой связи представляет практический интерес рассмотрение типичного варианта системы информационного обеспечения ТО тракторов (СИОТОТ), краткое описание которой, а также порядок ее разработки приведены ниже. Комплекс информационных компонентов, а также программно-алгоритмические средства этой системы обеспечивают повышение качества ТО тракторов, сокращение времени поиска и обработки необходимой информации, снижают трудоемкость и затраты на ТО.

СИОТОТ разрабатывалась исходя из следующих основных предпосылок:

- 1) повышение доступности имеющихся разработок по проведению ТО;
- 2) систематизация информации, связанной с ТО, интеграция всех необходимых информационных информации в единую систему;
- 3) обеспечение возможности регулярной корректировки информационных компонентов; многоуровневое представление информации с описанием операций ТО;
- 4) взаимная увязка выполнения операций по техническому диагностированию (ТД) и ТО;
- 5) реализация программно-алгоритмических средств и информационных

компонентов в прогнозировании остаточных ресурсов основных узлов и агрегатов трактора;

6) учет и автоматизированная фиксация индивидуальных параметров технического состояния тракторов;

7) учет оснащенности пункта ТО необходимыми техническими средствами;

8) обеспечение пункта ТО необходимой нормативно-технической информацией;

9) актуализация сведений о предприятиях, располагающих ресурсами для проведения ТО;

10) обеспечение простоты работы с информацией, имеющейся в системе.

К СИОТОТ в ходе ее разработки устанавливались следующие требования:

1) базирование на использовании современных информационных технологий;

2) структуризация, систематизация и интеграция всех необходимых компонентов нормативно-технической документации по ТО;

3) осуществление многоуровневого представления технологий ТО;

4) создание программно-алгоритмических и информационных средств для прогнозирования остаточного ресурса узлов и агрегатов трактора и расчета диагностируемых параметров;

5) учет хронологии ТО тракторов и выдача оперативных сводок ТО;

6) обеспечение возможности оперативного пополнения информационных компонентов системы уточненной или новой документацией и знаниями;

7) обеспечение возможности маневрирования по системе с использованием перекрестных ссылок.

Целостное и формализованное описание процессов ТО обеспечивается с помощью информационной модели системы технического обслуживания тракторов (СТОТ), позволяющей определить общую структуру СИОТОТ.

СТОТ рассматривается с учетом реального выполнения операций ТО в рамках известных нормативно-технических требований. Поэтому состав и структура информационной модели СТОТ во многом определяется уровнем ее функционирования. В качестве такого уровня в общем случае выбирается определенное территориальное образование (регион), а затем устанавливаются возможные пути перехода к частным случаям.

Вначале информационная модель СТОТ представляется в виде совокупности следующих двух основных объектов, непосредственно участвующих в процессе ТО:

$$ИМ_{\text{СТОТ}} \quad СП, \text{МОХ} \quad , \quad (2.1)$$

где *СП* – сервисное предприятие, применительно к которому рассматривается СТОТ; *МОХ* – совокупность (множество) обслуживаемых хозяйств, трактора которых обслуживаются данным СП.

С учетом в модели множества всех обслуживаемых хозяйств региона (*МОХР*), множества всех сервисных предприятий региона (*МСПР*) и множества всех имеющихся пунктов технического обслуживания (*ПТО*) (*МПТО*) выражение (2.1) записывается в следующем, более общем виде:

$$ИМ_{\text{СТОТ}} \quad МСПР, МПТО, \text{МОХР} \quad . \quad (2.2)$$

Выражение (1.2) рассматривается в качестве базового варианта информационной модели СТОТ, позволяющего решать вопросы организации ТО в регионе. В этом выражении в целях раскрытия структуры информационных компонентов СТОТ учитывается следующее:

1. При проведении операций ТД и ТО принято оперировать технологическими картами, в которых приводятся правила выполнения операций, а также необходимые оборудование, приспособления, слесарно-монтажный инструмент, контрольно-измерительные приборы и расходные материалы с нормативами их потребности.

2. Для удобства оперирования технологические карты группируются по видам ТО, определяемым условиями ТО, включая ежедневное ТО (ЕТО), первое ТО (ТО-1), второе ТО (ТО-2), третье ТО (ТО-3), сезонное ТО (СТО) и ТО при хранении (ТОХ).

Кроме операций ТД и ТО выполняются определенные расчетные операции, например, расчет остаточного ресурса трактора по параметрам его технического состояния, установленным в результате диагностирования. Отсюда возникает необходимость ввода в информационную модель такого параметра, как регистр расчетных задач (РРЗ).

С учетом указанных компонентов выражение (2.2) записывается в следующем в виде:

$$ИМ_{\text{стот}} \begin{matrix} МСПР, МПТО, МОХР, РМТ, КАТК, РНО, РНП, РСМИ, РКИП, РРМ, \\ НРМ, НЗВ, КСИР, РРЗ \end{matrix}, \quad (2.3)$$

где *РМТ* – регистр марок обслуживаемых тракторов; *КАТК* – комплекты альбомов технологических карт ТО (для каждой марки трактора свой альбом); *РНО* – регистры (ведомости) необходимого оборудования; *РНП* – регистры необходимых приспособлений; *РСМИ* – регистры слесарно-монтажных инструментов; *РКИП* – регистры контрольно-измерительных приборов; *РРМ* – регистры расходных материалов и *НРМ* – нормативы их затрат; *НЗВ* – нормативы затрат времени на выполнение операций ТО; *КСИР* – квалификационный состав исполнителей работ.

Для разработки программно-алгоритмических и информационных средств прогнозирования остаточного ресурса в качестве базового взят известный номограммный вариант прогнозирования параметров узлов и агрегатов трактора при известной наработке его от начала эксплуатации.

Наработка трактора t_{Π} от начала эксплуатации до достижения рассматриваемым параметром допустимого значения Π_{Π} определяется по формуле

$$t_{\Pi} = \left(\Pi / v_e - t_{\text{д}} \right)^{1/\alpha}, \quad (2.4)$$

где α – показатель степени, учитывающий характер изменения параметра от наработки; v_e – скорость изменения параметра; $\Delta \Pi$ – разница между величинами Π_{Π} и $\Pi_{\text{д}}$ (значения параметра предельное и во время диагностирования) при ТО параметра, который может быть использован трактором от момента диагностирования $t_{\text{д}}$ до момента t_{Π} . При этом также учитываются закономерности изменения каждого параметра соответственно через «коэффициенты кривизны α ».

Заключение по результатам расчета остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ по параметру делается на основе его сравнения с периодичностью ТО.

В рамках разработки СИОТОТ сформирована информационная база, в качестве составляющих которой выступают модули информации в виде следующих таблиц: «Свод учитываемых тракторов», «Сведения об обслуживании тракторов», «Справочник параметров состояния агрегатов и узлов трактора», «Данные по состоянию обслуживаемого трактора», «Заключения по результатам диагностирования».

СИОТОТ содержит следующие информационные блоки:

1. Типичные пункты ТО с описанием их характеристик.

2. Операции ТО рассматриваемых моделей в соответствии с имеющейся системой ТО, с описанием приемов выполнения самих операций и с требованиями к их выполнению.

3. Оборудование и оснастка, их устройство, технические характеристики и особенности применения при выполнении ТО.

4. Инструменты и приборы, их характеристики и особенности применения при выполнении ТО.

5. Топливо-смазочные и расходные материалы, их характеристики и особенности применения при выполнении ТО.

6. Нормы расхода материалов и ресурсов, необходимых для выполнения ТО.

7. Описание конструкций узлов и агрегатов обслуживаемых тракторов.

8. Хронология состояния обслуживаемых тракторов в моменты их поступления на ТО.

9. Прогнозирование остаточного ресурса основных узлов и агрегатов трактора.

10. Сведения о поставщиках оборудования и оснастки, расходных материалов, сервисных услуг.

Общая структура информационной системы показана на рисунке 2.5.

Связующим элементом системы является головной блок. Каждый блок, входящий в систему, может быть использован также отдельно.

Информационные компоненты СИОТОТ разделяются на два вида: применимые в условиях любого хозяйства и характерные только для конкретного хозяйства.

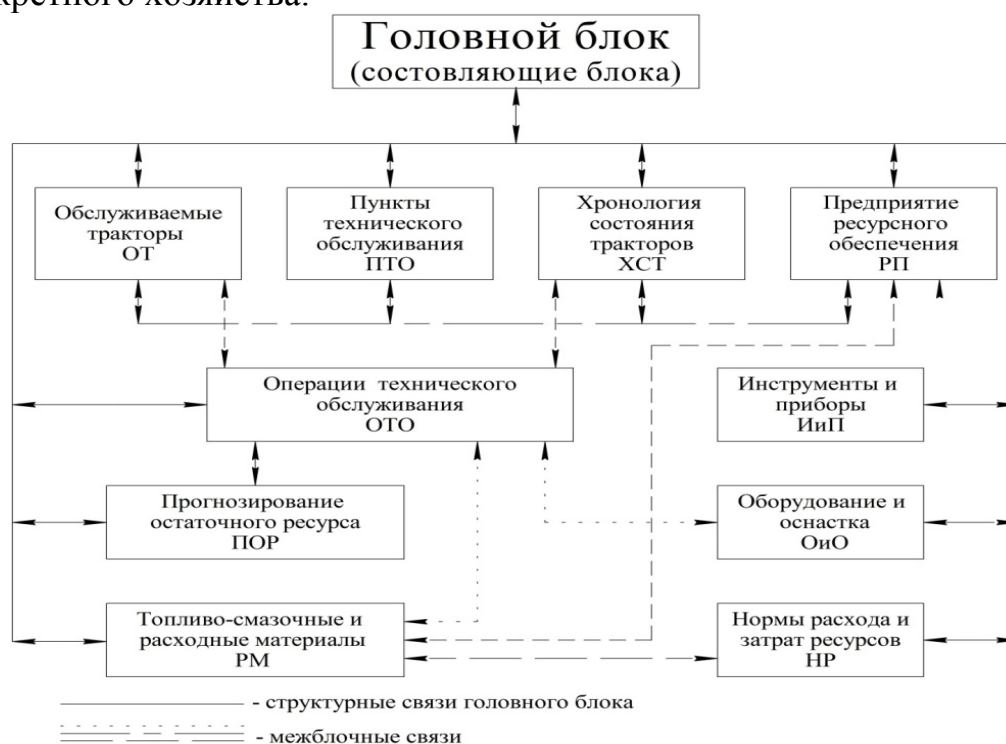


Рисунок 2.5 - Структура системы информационного обеспечения ТО тракторов

При разработке структуры СИОТОТ предусматривалось решение следующих задач:

- 1) осуществить формирование блоков СИОТОТ применительно к тракторам типа К-700;
- 2) систематизировать операции ТО в совокупности с операциями ТД и разработать единый технологический процесс технического обслуживания тракторов;
- 3) разработать форму записей хронологии данных по ТД и ТО;
- 4) сформировать информационно-справочные материалы для прогнозирования остаточного ресурса дизеля тракторов;
- 5) разработать программно-алгоритмические и информационные средства для прогнозирования остаточного ресурса основных узлов и агрегатов тракторов;
- 6) сформировать оперативную информацию применительно к условиям определенного хозяйства;
- 7) провести опытную эксплуатацию СИОТОТ в производственных условиях.

Методика формирования информационных блоков по ТО основана на приемах интеграции и систематизации информационных компонентов и состоит из нескольких этапов:

- 1) свод электронных текстов (ЭТ);
- 2) структуризация набора ЭТ;
- 3) создание гипертекстовой информационной системы;
- 4) создание системы информационного обеспечения ТО.

В основу компьютерного формирования компонентов СИОТОТ и организации взаимосвязей между ними положена гипертекстовая технология.

Основные блоки СИОТОТ разделены на группы в зависимости от состава структурных составляющих. Первая группа состоит из совокупности однотипных автономных составляющих, вторая – характеризуется монолитностью, целостностью.

По схеме набора однотипных структурных составляющих формируется содержание таких блоков, как «Пункты технического обслуживания», «Оборудование и оснастка», «Инструменты и приборы», «Топливо-смазочные расходные материалы», «Нормы расхода и затрат ресурсов», «Предприятия ресурсного обеспечения».

Для обеспечения корректной работы указанных блоков предложены методические приемы и процессы, включающие следующие процедуры:

- 1) сбор и обработка информации;
- 2) компоновка набора рисунков и спецификаций приборов, устройств, объектов;
- 3) расшифровка аббревиатур;
- 4) корректировка терминологии;
- 5) обеспечение возможности получения необходимой информации при проведении ТО на любом его этапе;
- 6) исключение дублирующих операций ТО и объединение одинаковых приемов их выполнения;
- 7) обеспечение полноты описаний операций ТО;
- 8) компоновка в таблицы перечня операций по видам ТО по рассматриваемым маркам тракторов;
- 9) конкретизация диагностируемых данных применительно к рассматриваемым моделям тракторов;
- 10) конкретизация выполнения операций ТО применительно к рассматриваемым моделям тракторов;
- 11) формирование обратной связи: после получения необходимой информации обеспечение ее возврата в начало или в текущую точку системы.

Основное внимание уделено многоуровневому представлению информации в блоках. Предусмотрено маневрирование по информации каждого блока по схеме: вид ТО; операции ТО; операции по ТД; технологические карты по ТД и ТО. Создана взаимосвязь с блоками «Инструменты и приборы», «Оборудование и оснастка», «Топливо-смазочные и расходные материалы», «Обслуживаемые тракторы».

Для формирования информационных средств и удобства организации вычислительных работ в блоке «Прогнозирование остаточного ресурса» в компьютере по каждой марке трактора заводится отдельный файл. Далее в определенной последовательности выполняются операции по оценке остаточного ресурса трактора и его учитываемых параметров.

В качестве программной среды при разработке системы информационного обеспечения технического обслуживания тракторов выбраны инструментарию, имеющиеся в пакете MS Office версии 2003, которые применимы в последующих версиях.

Ниже представлены результаты формирования, производственных испытаний и оценки эффективности СИОТОТ применительно к конкретному сельскохозяйственному предприятию, для которого были проанализированы парк техники; общие сведения об обслуживаемых тракторах; общая характеристика, оборудование и оснастка пункта ТО.

Блоки «Пункты технического обслуживания», «Оборудование и оснастка», «Инструменты и приборы», «Обслуживаемые тракторы» представлена на трех уровнях: в качестве первого уровня выступает

перечень групп объектов, второго – наименования объектов, третьего – описания самих объектов. В свою очередь, блоки «Топливо-смазочные и расходные материалы» и «Нормы расхода и затрат ресурсов» представлены на двух уровнях.

Блок «Инструменты и приборы» содержит подробное описание и технические характеристики приборов и инструментов, предусмотренных к использованию для выполнения операций по ТО.

Информационная структура блока показана на рисунке 2.6.

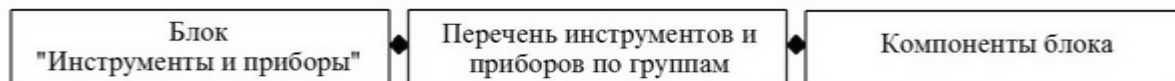


Рисунок 2.6 - Информационная структура блока «Инструменты и приборы»

Первый уровень информации – наименования по группам, второй – перечень всех приборов и инструментов по группам. По каждой группе приводятся их марки или модели с соответствующими кодами. Переход к просмотру информации об интересующем приборе или инструменте осуществляется с помощью кода и гиперссылки. Третий уровень – изображение прибора или инструмента с необходимыми сечениями и разрезами, наименования всех составных частей; здесь же описывается принцип его работы и дается подробная инструкция по его применению, а также техническая характеристика компонента.

Аналогично сформированы другие блоки, указанные выше.

Блок «Операции технического обслуживания» состоит из информационных компонентов, характеризующих полный набор операций ТД и ТО. В данном блоке все операции представлены в виде единого технологического процесса. Многоуровневая информационная структура блока показана на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 - Информационная структура блока «Операции технического обслуживания»

Первый уровень блока – общий информационный, здесь использованы общепринятые условные обозначения видов обслуживания: ТО-1, ТО-2 и др. Второй уровень состоит из перечня операций ТД и ТО. Третий уровень содержит операции ТД и ТО и требования к их выполнению, здесь же указываются номера технологических карт ТД и ТО. Четвертый уровень содержит технологические карты ТД и ТО, в которых подробно описывается последовательность выполнения операций.

Блок «Прогнозирование остаточного ресурса» представлен в виде программно-алгоритмических и информационных средств, которые позволяют заменить процедуру использования номограмм компьютерными средствами в среде электронной таблицы. Для решения требуемых задач используются нормативно-справочная информация, оперативная информация и программно-алгоритмические средства.

Основой для решения задач является форма «Свод учитываемых тракторов». С помощью гиперссылок колонки «Переход к книгам тракторов» осуществляется переход к книгам, содержащим данные по учитываемым тракторам с группировкой их по маркам. Информационная структура решения задачи по оценке остаточного ресурса параметров трактора показана на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 - Информационная структура задачи

Действия пользователя сводятся к следующему:

- задание даты обслуживания, марки, номера трактора и его наработки;
- распечатка формы с данными для записи результатов ТД;
- ввод результатов ТД в компьютер;
- получение и распечатка заключения по результатам прогнозирования.

На каждый трактор заводится «карта», в которой зафиксировано его состояние в момент поступления на ТО. Такая информация может быть использована при анализе причин возникновения неисправностей тракторов, а также в целях уточнения содержания работ по ТО.

Проверка работоспособности СИОТОТ показала, что она в целом выполняет все основные функции, предусмотренные при ее разработке.

Специалист, войдя в систему СИОТОТ, получает для определенного вида ТО информацию по операциям ТО и их последовательности, по применяемому оборудованию, инструменту, приборам, а затем на ее основе выполняет ТО, с последующим занесением в «карту» трактора сведений о ТО. Далее выполняется процедура оценки остаточного ресурса узлов или агрегатов дизеля трактора.

Использование информации на рабочих местах позволяет упорядочить технологический процесс ТО, избежать пропуска отдельных операций и соблюдать технические требования к выполнению операций, что является залогом поддержания тракторов в постоянной готовности к выполнению работ.

Технологический процесс ТО с применением СИОТОТ, представлен в виде блок-схемы на рис. 2.9.

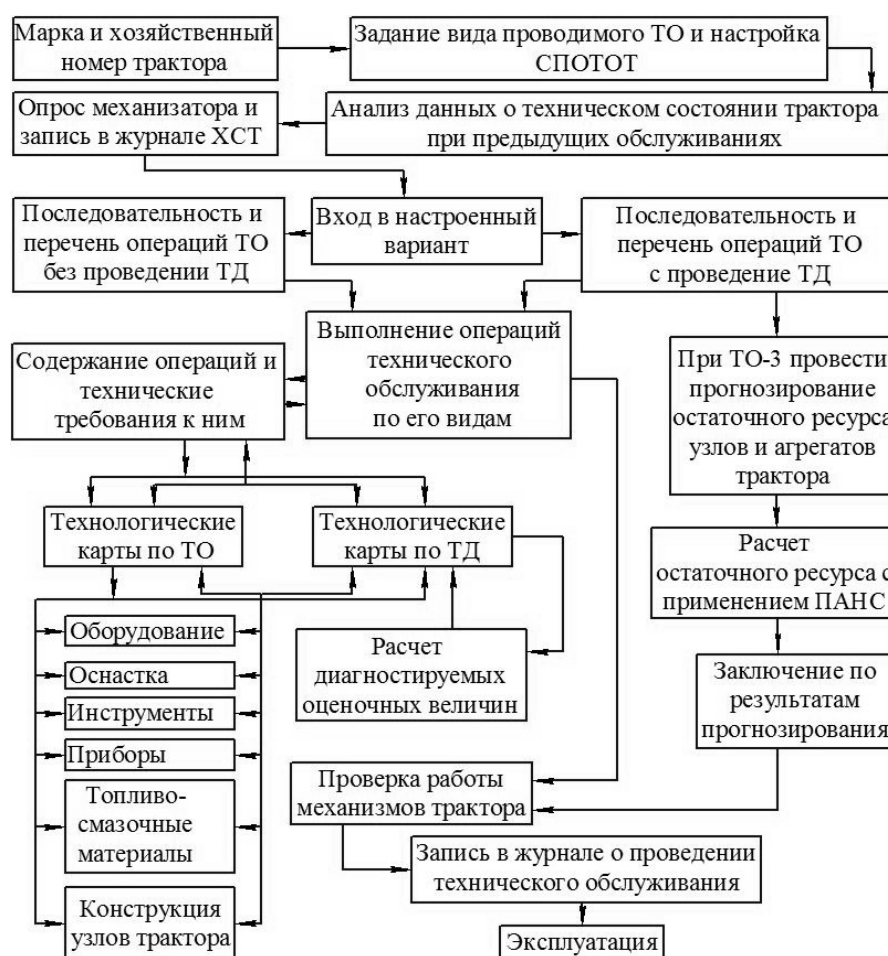


Рисунок 2.9 - Блок-схема использования СИОТОТ в технологическом процессе ТО тракторов

Применение СИОТОТ для тракторов типа К-700 позволяет сэкономить времени на 14,3 часа на один трактор и снизить трудоемкость операций ТО в 1,2 раза.

2.7 Информационные системы технического сервиса транспортных машин

Одной из главных составляющих системы технической эксплуатации машин, в т.ч. грузовых автомобилей, является нормативно-техническая документация (НТД). Обычно она распределена по многочисленным источникам. Кроме того, определенные компоненты НТД, в частности, по техническому обслуживанию (ТО) грузовых автомобилей (ГА), постоянно развиваются и корректируются.

Как следствие, работа с такой документацией, включая подборку и систематизацию ее обновленных компонентов, представляет значительные сложности, из-за чего приходится тратить много времени на работу с НТД, а также нередко пользоваться устаревшими или неполными комплектами НТД, что может приводить к снижению качества ТО. Одним из эффективных путей устранения указанных проблем и совершенствования организации ТО грузовых автомобилей (ТОГА) является применение компьютерной техники для работы с НТД в процессе непосредственного выполнения операций ТО.

Выполнение ТОГА может быть усовершенствовано благодаря применению технологических карт (ТК). Однако ТК не получили широкого практического применения, в основном они разработаны лишь для некоторых моделей автомобилей.

Ниже рассмотрены пути совершенствования организации ТОГА на основе применения системы интегрированной электронной нормативно-технической полнокомплектной документации и индивидуализированного прогнозирования параметров технического состояния узлов и агрегатов автомобиля (СИЭДиИП).

В качестве основных требований к СИЭДиИП при ее разработке определены следующие:

- 1) наличие полной, корректной информации по всем операциям ТО и ТК проведения этих операций;
- 2) наличие расчетно-информационного комплекса для прогнозирования остаточного ресурса машин по параметрам их узлов и агрегатов.

3) наличие возможностей: отображения текстовых и графических документов; работы с блоками системы; просмотра сформированного материала всех файлов и выборочно; приспособления ИС к работе с применением современных программно- аппаратных средств;

4) наличие простого, интуитивно понятного интерфейса для различных уровней квалификации пользователей и возможности оперативного доступа к информационной базе (ИБ);

5) приспособленность к адаптации и дальнейшему развитию.

Для систематизации содержания нормативно-технических (НТ) компонентов СИЭДиИП ТОГА сформирована ее информационная модель (ИМ), в которой процессы ТО и ТД грузовых автомобилей рассматриваются в комплексе и в виде совокупности: пункт технического обслуживания (ПТО), обслуживаемая машина, виды ТО и ТД, соответствующие им операции ТО, эксплуатационный материал, необходимые запчасти, инструменты, приборы, приспособления и стенды.

С учетом указанных, а также других компонентов системы ТО грузовых автомобилей ИМ представлена в виде:

$$ИМ (ИМАi, МПУ), \quad (2.5)$$

где ИМАi – информационная модель ТО и ТД i-го автомобиля; МПУ – множество возможных вариантов пунктов, постов и участков ТО.

Информационная модель i-го автомобиля (ИМАi) представлена в виде:

$$ИМАi (Ai, OAi, ATKi), \quad (2.6)$$

где Ai – наименование i-й марки автомобиля, OAi – описание конструктивных особенностей и характеристик i-й марки автомобиля, ATKi – альбом ТК выполнения операций ТО и ТД i-й марки автомобиля.

Формализованной информацией об N-м варианте ПУ_N является спецификация оборудования СО_N, установленного на его постах и участках, план расстановки оборудования (ПРО) и схема обслуживания автомобилей (СОА) на пункте.

В результате систематизации и обобщения таких сведений применительно к множеству марок автомобилей формируются комплекты необходимых альбомов ТК проведения ТО, регистры необходимых оборудования и приспособлений, а также регистры других средств.

Для каждой операции ТО и ТД (S) каждого вида ТО и ТД (N) автомобиля конкретной марки (Ai) составляется ТК (TKi SN). Для

удобства работы ТК группируются по видам обслуживания: ЕТО, ТО после первых 1000 км (сервис А), ТО после первых 4000 км (сервис В), ТО-1, ТО-2, СО (сервис С).

Наряду с операциями ТО и ТД обычно выполняются определенные расчетные операции, например, расчет остаточного ресурса параметров обслуживаемых узлов и агрегатов автомобиля по результатам ТД. С учетом этого в ИМ введен дополнительно параметр – множество расчетных задач (МРЗ).

ИМ ориентирована на генерирование информации блоков СИЭДиИП ТОГА, которые должны быть сформированы применительно к конкретным автомобилям и к оснащенности используемых постов и участков ТО.

Разработка СИЭДиИП ТОГА реализована на компьютере в виде специализированных информационных систем (ИС).

Согласно разработанной ИМ, составлена гипертекстовая ИБ с элементами иерархичности, объединяющая в себе принципы документальной и фактографической баз и предусматривающая использование в качестве элемента ИБ текстового файла в формате DOC.

Анализируемый в ходе прогнозирования параметр характеризуется номинальным (P_H) и предельным (P_{II}) значениями, в результате диагностирования определяется текущее значение (P_D) параметра. Изменение рассматриваемого параметра описывается функцией вида:

$$P_D = P_H + v_c t_d^\alpha, \quad (2.7)$$

где v_c – скорость изменения параметра (обычно случайная величина); t_d – наработка машины с начала эксплуатации ко времени диагностирования; α – показатель степени, задающий характер изменения параметра от наработки.

При оценке ресурса у параметра ($P_D < P_{II}$) по значениям P_D и t_d определяется показатель v_c . Допуская, что данная скорость далее останется неизменной, рассчитывается прогнозируемое время работы машины t_{II} , при котором параметр становится равным его допустимому значению P_{II} :

$$t_{II} = ((P_{II} - P_D) / v_c)^{1/\alpha}. \quad (2.8)$$

Разницей между величинами P_{II} и P_D определяется запас параметра ΔP , который используется машиной от времени диагностирования до времени t_{II} .

В результате сравнения рассчитанного значения t_{Π} с периодичностью предстоящего ТО рассматриваемой машины вырабатывается управляющее решение по отношению к ее рассматриваемому параметру.

Общая структура СИЭДиИП ТОГА, представленная головным блоком, показана на рис. 2.10.

Головной блок рассматривается как совокупность основных информационных блоков и выступает в качестве связывающего элемента для всех блоков. В нем созданы гиперссылки переходов к просмотру НТ контентов соответствующих блоков с учетом их многоуровневого представления и возможных вариантов оперирования ими в СИЭДиИП ТОГА.

Рассмотрение процессов ТО осуществляется на основе использования системного подхода, который применительно к СИЭДиИП ТОГА состоит в следующем: 1) разрабатываемая ИС расчленяется на конечное число частей (подсистемы, блоки); 2) каждая подсистема расчленяется на конечное число более мелких подсистем (регистры, компоненты) и т.д. – до получения в результате конечного числа шагов таких частей, называемых элементами системы, которые в условиях данной задачи не подлежат дальнейшему расчленению на части; 3) элементы системы функционируют во взаимодействии; 4) свойства системы в целом определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между ними; 5) в данную систему входят несколько иерархических подсистем представленных на рисунке 2.11.

Каждый из блоков отличается по структуре и формируется как автономный, что позволяет использовать в качестве компонентов в составе других ИС.

СИЭДиИП ТОГА	
1.	Пункты технического обслуживания автомобилей - <u>ПТО АТ</u>
2.	Операции технической диагностики, технического обслуживания автомобилей - <u>ОТОиД</u>
3.	Основные нормы времени на операции технического обслуживания и технического диагностирования автомобилей - <u>НВр</u>
4.	Оценка остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобилей - <u>ООсР</u>
5.	Оборудование, инструменты и приборы, используемые в процессе обслуживания автомобилей - <u>ОИП</u>
6.	Горюче-смазочные и расходные материалы, их нормы расхода - <u>ГСРМ</u>
7.	Основные регулировочные параметры узлов и агрегатов автомобилей - <u>РгП</u>
8.	Запасные части и их взаимозаменяемость - <u>ЗПЧ</u>
9.	Модели (конструкции) обслуживаемых автомобилей - <u>МК</u>

Для перехода к выбранному блоку нажмите на гиперссылку строки

Рисунок 2.10 - Общая структура СИЭДиИП ТОГА

Для размещения НТМ каждого блока в директории формируются поддиректории с условными наименованиями, присвоенными соответствующим блокам НТ фонда. Блоки взаимоувязаны гипертекстовой структурой таким образом, чтобы можно было, находясь в одном блоке-файле, перейти к другому блоку-файлу без выхода из используемого блока и, при необходимости, вернуться назад.

При формировании СИЭДиИП ТОГА используется принцип горизонтальной интеграции НТ фонда с ранее сформированным фондом, в результате которой данный фонд дополняется и расширяется за счет включения в него определенных компонентов вновь разработанного НТМ.

Основные блоки СИЭДиИП ТОГА с учетом состава структурных компонентов разделены на блоки индивидуального характера и однотипные блоки горизонтальной интеграции контентов, представленные на рисунке 2.11.

Методика и алгоритм разработки основных блоков СИЭДиИП ТОГА индивидуального характера включает: разработку, отбор, обработку и группирование НТМ; формирование данного материала в соответствии с предъявляемыми требованиями к СИЭДиИП ТОГА с включением рисунков и спецификаций приборов, устройств, объектов; расшифровку аббревиатур и корректировку терминологии для приведения ее к единой составляющей; формирование файловой структуры с НТМ для возможности вызова любой информации при проведении ТО на любом этапе использования ИС, а также для

возможности осуществления (вызова) обратной связи после получения или просмотра необходимой информации.

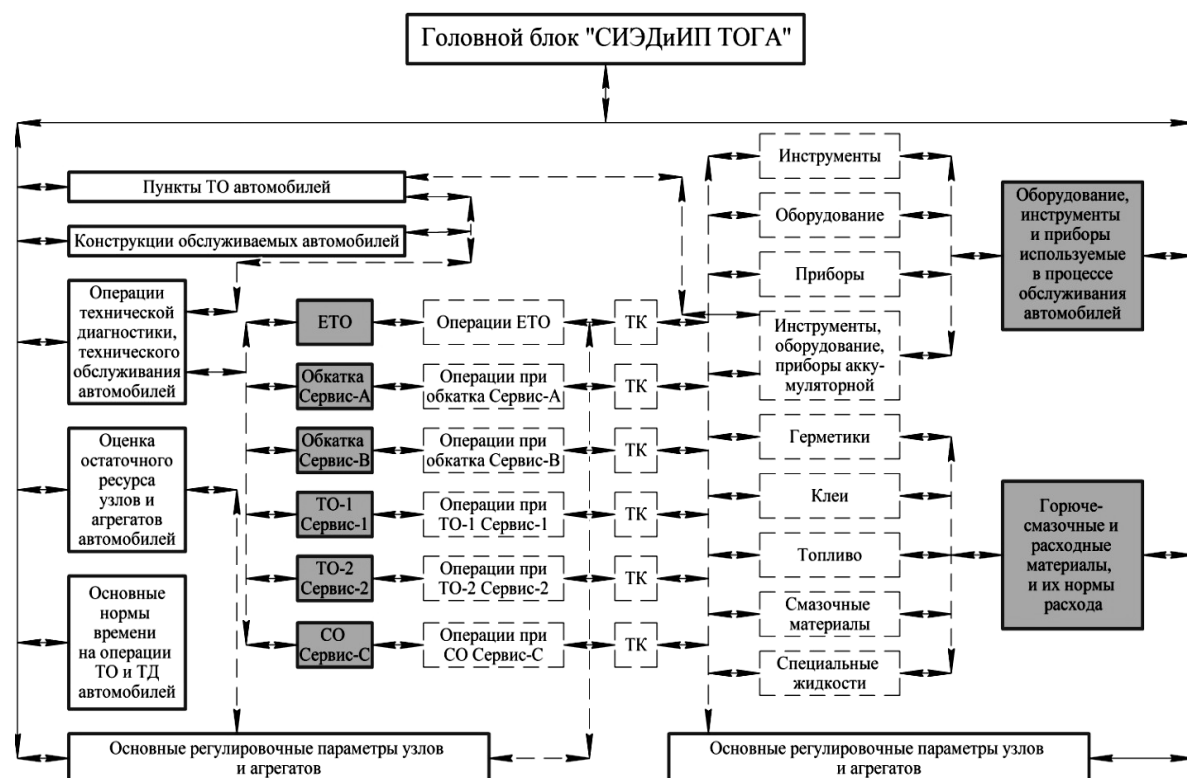


Рисунок 2.11 - Структура СИЭДиИП ТОГА (□- блоки индивидуального характера, ■ – однотипные блоки горизонтальной интеграции контентов; ↔ структурные связи головного блока; ← - - → – межблочные связи)

При формировании однотипных блоков горизонтальной интеграции контентов осуществляется разработка и подбор необходимых НТ компонентов, обеспечивая их полноту и содержательность. Информация о каждом рассматриваемом объекте включает его изображение с необходимыми разрезами, наименования его составных частей. Здесь же дается описание принципа работы и подробная инструкция по его применению, а также техническая характеристика объекта. Если описание объекта включает ссылки на другие объекты, то в блоке приводятся их описания и даются гиперссылки на них.

С учетом многообразия рассматриваемых объектов для повышения удобства получения НТМ при формировании блоков применяются приемы обобщения и группирования. Так, в начале блока располагается список информационных узлов блока, по которым в блоке представлена информация, затем по каждому информационному узлу приводится список (регистр) их марок или моделей и от каждого из них

следует гиперссылка на информационный объект (модуль) с описанием соответствующего объекта. Для каждого объекта в данном блоке имеется свое обозначение в виде кода для гиперссылки. В результате такого формирования блока пользователь может легко обнаружить наличие искомого НТМ об интересующем его объекте и непосредственно перейти к его просмотру.

Все операции ТО и ТД формируются в виде следующей совокупности данных: операция, обслуживаемая машина, эксплуатационный материал, инструмент, прибор, приспособление/стенд. Вместе с тем формируются контенты с вариантами, различающимися степенью детализации представления НТМ. Для автоматизации процедур оценки остаточных ресурсов узлов и агрегатов ГА в среде электронной таблицы EXCEL-2010 разработан программно-алгоритмический и информационный комплекс индивидуального (по каждому автомобилю) прогнозирования параметров технического состояния его узлов и агрегатов в компьютере в виде пакета «Прогнозирование».

Разработанный комплекс был апробирован на ряде моделей грузовых автомобилей семейства КамАЗ. Производственные испытания показали, что применение СИЭДиИП ТОГА приводит к сокращению времени выполнения ТО и ТД.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды информационных потоков, из которых формируется информационная среда предприятий технического сервиса.
2. Каковы особенности организации информационного обеспечения технического сервиса?
3. Каковы задачи информационно-консультационной службы по техническому сервису?
4. Каковы задачи информационно-маркетинговой службы по техническому сервису?
5. Что представляет собой система информационной поддержки принятия решений при планировании работ по техническому сервису?
6. Назовите функции системы автоматизации технического сервиса.
7. Каковы задачи сбора и обработки информации о надежности машин?
8. Из каких информационных блоков состоит системы информационного обеспечения технического обслуживания тракторов?
9. Какова структура системы интегрированной электронной нормативно-технической документации и индивидуализированного

прогнозирования параметров технического состояния узлов и агрегатов транспортных машин?

ГЛАВА 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКА МАШИН

3.1 Дистанционный контроль технического состояния тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин

Во время осенне-весенних полевых работ перед руководителями сельскохозяйственных предприятий с особой остротой встают вопросы контроля технического состояния эксплуатируемой техники. Для оценки и последующей оптимизации работы предприятия, по критериям минимизации расхода топливно-смазочных материалов (ТСМ), рабочего времени, получения качественной продукции необходимо обладать полной и объективной информацией, что позволяет обеспечивать работу техники по требуемым агротехническим срокам.

В последние годы был сделан большой прорыв в обеспечении контроля управления мобильной техникой за счет внедрения телеметрических систем мониторинга на основе систем ГЛОНАСС, GPS. Ниже рассмотрены особенности применения этих систем для контроля технического состояния тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

В начале развития спутникового мониторинга использовались в основном такие его функции, как онлайн-определение машин на картах и контроль нецелевого расхода топлива.

В настоящее время с помощью телеметрических информационных систем и прикладных программных средств сельскохозяйственные предприятия успешно решают следующие узкоспециализированные задачи: агрохимический мониторинг, поддержку технологий «точного земледелия» и тематическое картографирование сельхозугодий и др.

Важной задачей применения телеметрических информационных систем (ИС) является мониторинг качества эксплуатации и технического обслуживания (ТО) техники с накоплением систематизации данных о работе машинно-тракторного парка (МТП) в АПК. Актуальность решения этой задачи продиктована рядом технико-экономических и организационных аспектов:

- недостатком квалифицированного персонала, обеспечивающего высокую эксплуатационную надежность машин;
- использованием разновозрастного и разномарочного состава МТП, из-за чего затрудняется унификация процессов ТОиР;
- использованием машин с разной формой собственности (аренда, лизинг и др.);

- несвоевременностью проведения квалифицированного ТО машин в т.ч. сезонного, ежегодного;

- наличием нарушений правил эксплуатации машин, работой на аварийных режимах;

- низкой согласованностью мероприятий по ТОиР и обеспеченности запчастями и расходными материалами.

Преодоление указанных проблем позволяет снизить производственные издержки, повысить качество выполняемых работ, а также производственную и трудовую дисциплину при эксплуатации и ремонте МТП.

Сбор информации через телеметрические ИС и обработка данных о техническом состоянии и нарушении правил эксплуатации, регистрация внезапных отказов машин обеспечивают своевременное реагирование и взаимодействие сервисных и ремонтных служб и собственников машин.

Техническое состояние МТП зависит от системного подхода к практическому использованию средств мониторинга и управления техническим состоянием машин, включая:

- измерение контролируемых параметров работы МТП на эксплуатационных режимах;

- оценку объема механизированных работ, выполняемых машинами; расхода топлива, своевременности проведения ТО с учетом требований предприятия-изготовителя и лизинговой компании;

- сокращение простоев, времени доставки, затрат на ТО;

- увеличение срока службы машин;

- повышение эффективности логистики и более эффективное использование ресурсов сервисных и ремонтных служб;

- выявление случаев мошенничества при использовании техники в лизинге;

- выявление случаев эксплуатации техники без прохождения в установленном порядке техосмотра;

- обеспечение сервисных и ремонтных служб независимой системой контроля технического состояния МТП;

- автоматизированный учет и управление сельскохозяйственным предприятием;

- обеспечение первичной обработки и ведения нормативно-справочной информации для сельхозтоваропроизводителей и ремонтных служб;

- оптимизация организации ТОиР мобильного и стационарного оборудования.

Это, в свою очередь, позволяет повысить качество эксплуатации МТП и уровень развития ремонтно-обслуживающей инфраструктуры в целом.

При реализации системы удаленного мониторинга технического состояния МТП, проводившейся ГОСНИТИ, применялся программно-аппаратный комплекс с отраслевым приложением «Агропром» и оборудование компании «Глобальные системы автоматизации» (ГЛОСАВ). Принцип работы системы основан на использовании нескольких технологий:

- спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС – для точного определения местоположения объектов путем анализа сигналов, передаваемых с навигационных спутников;

- сетей сотовой связи GSM – для оперативного обмена информацией с установленным на объектах бортовым оборудованием (для передачи данных служили протоколы GPRS и SMS)

- интернет-технологии – для обмена данными между компонентами системы и для оперативного предоставления информации пользователям.

Для расширения функциональных возможностей устанавливаемых на машины бортовых блоков Автосат ГЛОНАСС различных модификации (рисунок 3.1), являющихся основным элементом в системе, необходимо было также устанавливать дополнительно датчики к аналоговым и дискретным входам и к радиоканалам.



Рисунок 3.1 - Внешний вид бортового блока Автосат БК-10

Для реализации системы контроля технического состояния МТП использовали как внешние датчики (таблица 3.1), так и штатные датчики показывающих бортовых блоков совместно с дополнительными согласующими устройствами, индикаторами и реле, работающими в режиме «ключа», или штатные интерфейсы CAN, RS-485, RS-232. Это позволяло подключаться к более чем 30 независимым каналам от объектов контроля и получать изменяющиеся при эксплуатации МТП параметры – давление, температура, частота вращения и др.; фиксировать аварийные режимы эксплуатации, идентифицировать и регистрировать как объекты навесного или

прицепного орудия, так и водителя или мастера-наладчика при помощи радиочастотного канала связи.





Программное обеспечение системы осуществляет контроль параметров работы машин, что позволяет уже на ранних стадиях отклонений параметров от номинальных и допустимых значений фиксировать их и оперативно принимать меры по недопущению эксплуатации машин на аварийных режимах.





Система контроля позволяет объективно и оперативно выявлять причинно-следственные связи поломок и отказов МТП. Для контроля режима работы оператора машины программное обеспечение позволяет выводить данные о времени работы и отдыха тракториста (комбайнера).

Внедрение телеметрических информационных систем для оценки эффективности работы МТП в АПК позволяет выявлять скрытые резервы и возможности, проводить глубокий анализ качества инженерно-технологических услуг по ТОиР, по поставке ТСМ и др.

Современная бортовая техника автоматического контроля позволяет не только контролировать техническое состояние сельскохозяйственных машин, но и проводить эксплуатационно-технологический мониторинг, т.е. контролировать правильность их функционирования. На рисунке 3.2 показан в качестве примера внешний вид информатора молотьбы комбайна Dominator фирмы Claas.

Таблица 3.1 - Внешние датчики и устройства для подключения к бортовому блоку GSM/ГЛОНАСС

№ п/п	Назначение	Внешний вид
1	2	3
1	Радиочастотная идентификация (RFID)	
2	Датчик наличия водителя (пассажира)	
3	Датчик уровня топлива (цифровой/аналоговый). Применяется для точного измерения уровня топлива в баках транспортных средств и стационарных установках. Может использоваться как штатных датчик указателя, а также как дополнительный – в системах контроля расхода топлива и мониторинга транспорта	
4	Универсальный датчик механизмов. Применяется для контроля работы дополнительного специального оборудования	

5	Дифференциальный расходомер топлива DFM предназначен для дифференциального (подача минус «обработка») измерения расхода дизельного топлива в топливной магистрали транспортных средств и агрегатов	
6	Цифровой датчик для измерения температуры узлов, рабочих жидкостей	
7	Устройство сопряжения для управления штатными стрелочными указателями. Может применяться с другими устройствами, которые имеют аналоговый выходной сигнал (от 1,5 до 5 В)	
8	Универсальный датчик приближения для контроля работы дополнительного оборудования и исполнительных механизмов	

Продолжение таблицы 3.1

9	Радиодатчик. Используется для контроля температуры и открытия дверей, капота, технологических люков	
10	Датчик сигнализатора засоренности воздушного фильтра дизеля	
11	Тревожная кнопка. Используется для подачи на диспетчерский пульт сигнала о наступлении нештатной ситуации при эксплуатации	
12	Датчики нагрузки на ось. Позволяют оценить загрузку транспортного средства с пневмо- и рессорной подвеской, а также фиксации ям, ухабов дорог	
13	Магнитоконтактные датчики (терконы). Используются для контроля срабатывания механизмов, подъема кузова, капота	
14	Акселерометры (встроенные и внешние). Используются для анализа стиля вождения, автоматической идентификации дорожно-транспортного происшествия, определения угла наклона транспортного средства	
15	Универсальный блок контроля моточасов работы двигателя. Предназначен для совместной работы с приборами мониторинга и может быть применен для подсчета моточасов на любых типах двигателей	
16	Датчик-ключ. Используется для контроля включения любых приборов и агрегатов, а именно: включение зажигания, срабатывание аварийных индикаторов, включение соленоидов управления пневмо- и гидропривода	
17	Кондуктометрические датчики. Используются для контроля отстоя в топливных баках	
18	Реле давления и температуры КРМ. Предназначен для выдачи сигнала при превышении заданного контролируемого порога (аварийное превышение/уменьшение давления)	
19	Датчик уровня используется для контроля минимального уровня масла в картере двигателя, баках гидросистем	

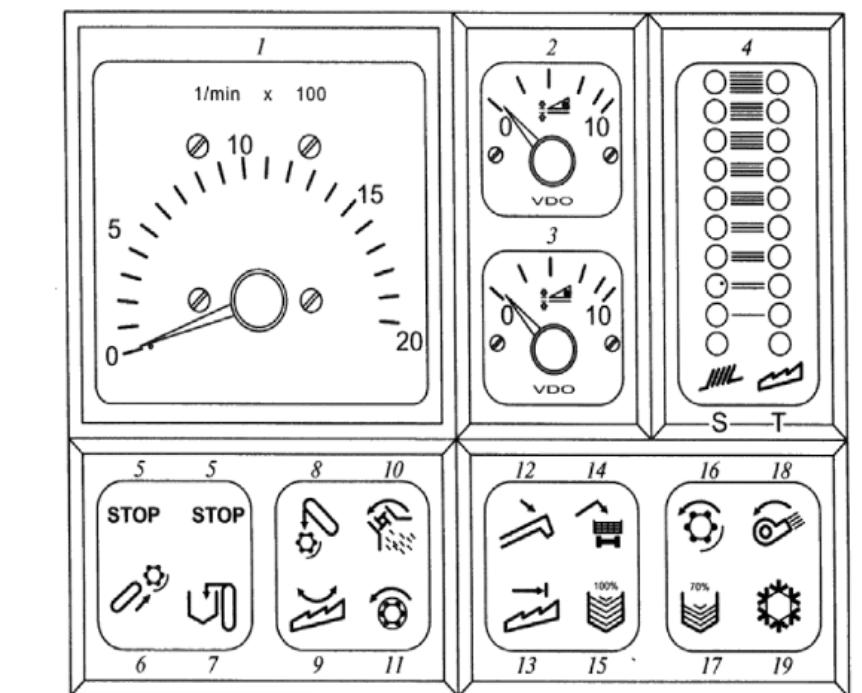


Рисунок 3.2 - Информатор молотьюбы комбайна Dominator фирмы Claas
 1 – счетчик рабочих часов, указатель скорости вращения молотильного барабана; 2 – индикатор высоты среза; 3 – индикатор разгрузки жатки (давление прижима); 4 – контроль пропускной мощности: S – грохот; T – соломотряс; 5 – сигнальные лампы, красная – «Стоп»; 6 – сигнальная лампа, красная – контроль скорости вращения наклонного транспортера; 7 – сигнальная лампа, красная – контроль скорости вращения зернового элеватора; 8 – сигнальная лампа, красная – контроль скорости вращения элеватора сходового продукта; 9 – сигнальная лампа, красная контроль скорости вращения; 10 – сигнальная лампа, красная – контроль скорости вращения измельчителя; 11 – свободно для других функций; 12 – сигнальная лампа, красная – выпускная труба зернового бункера выведена; 13 – сигнальная лампа, красная – пробка в пространстве соломотряса; 14 – сигнальная лампа, красная — включен процесс опорожнения зернового бункера; 15 – сигнальная лампа, красная – зерновой бункер заполнен на 100%; 16 – контрольная лампа, зеленая – при индикации скорости вращения молотильного барабана; 17 – контрольная лампа, зеленая – зерновой бункер заполнен на 70%; 18 – контрольная лампа, зеленая – при индикации скорости вращения вентилятора; 19 – сигнальная лампа, красная – неисправность в компрессорной установке кондиционера

3.2 Бортовые системы контроля транспортных машин

Для постоянного отслеживания режима движения и технического состояния автомобильного транспорта в процессе эксплуатации служат бортовые системы контроля.

В автомобилях применяются различные по назначению контрольно-измерительные приборы, различающиеся конструкцией и принципом действия.

С помощью датчиков положения (перемещение/угол) контролируются такие параметры, как: положение дроссельной заслонки, положение педали управления подачи топлива, перемещение сервомеханизма капота двигателя, дистанция до другого автомобиля или препятствия, угол поворота рулевого колеса; угла поворота колеса; угол наклона подрессоренной массы при повороте, курсовой угол и угол положения педали тормоза и др.

С помощью электроизмерительных приборов осуществляется контроль параметров системы электроснабжения. Приборы измерения давления и разряжения служат для контроля давления масла в двигателе и в гидромеханической передаче, воздуха в пневматической тормозной системе, разряжения во впускном коллекторе. Термометры используются для измерения температуры охлаждающей жидкости, а также температурных режимов работы узлов и агрегатов, спидометры – для контроля режима движения, а тахометры – для контроля частоты вращения вала двигателя. Специальные приборы разных типов контролируют уровень топлива в баке, уровень эксплуатационных жидкостей в заправочных емкостях, а также техническое состояние тормозных накладок, фильтров и других частей автомобиля.

Особое значение имеют приборы, которые предназначены для информирования водителя о возникновении неисправностей или нарушении рабочих функций узлов или агрегатов, определения оптимальных действий по выбору режимов функционирования. При этом основными параметрами контроля являются: уровень масла в двигателе; уровни охлаждающей и тормозной жидкостей, а также жидкости в бачке стеклоомывателя; износ тормозных накладок; исправность ламп системы освещения и сигнализации. Кроме того, с помощью встроенных датчиков определяются: напряжение аккумуляторной батареи; регулируемое напряжение генератора; исправность диодов выпрямителя генератора; напряжение на катушке зажигания при включении замка зажигания и стартера; напряжение на контактах прерывателя; угол замкнутого состояния контактов прерывателя при контрольных значениях частоты вращения вала двигателя; асинхронизм искрообразования по цилиндрам; угол опережения зажигания при контрольных значениях частоты вращения

двигателя; падение частоты вращения двигателя при отключении цилиндров.

В современных автомобилях находят широкое применение бортовые персональные компьютеры, предназначенные для оказания всесторонней помощи водителю. В компьютер поступают сигналы, характеризующие работу систем регулирования подачи топлива, скорости автомобиля, уровня топлива в баке, напряжения аккумуляторной батареи, включения подсветки приборной панели и др. Кроме того, бортовой компьютер может выполнять функции противоугонного устройства, управлять антиблокировочной системой, выбирать оптимальный маршрут.

Электронные информационные устройства и индикаторы, устанавливаемые на приборную панель, могут предоставлять водителю информацию о состоянии автомобиля в цифровой, графической и текстовой форме, также возможен синтез человеческой речи.

Например, панель приборов автомобилей марки Mercedes-Benz отражает следующие параметры: температура двигателя; уровень и давление масла; уровень тормозной, охлаждающей и омывающей жидкостей; толщина тормозных накладок; степень засоренности воздушного фильтра; напряжение аккумуляторной батареи. Также на панели предоставляются сведения о состоянии антиблокировочной системы, гидропривода тормозов, гидроподвески, стояночного тормоза, ремней безопасности, замков дверей, ламп сигнальной аппаратуры. Кроме того, на ней указываются скорость движения автомобиля, частота вращения вала двигателя, пробег, расход топлива, текущее время, время в пути и время простоя, температура наружного воздуха, интервалы технического обслуживания и др.

3.3 Интеллектуальные системы диагностики

Развитие интеллектуальных систем ТО является следствием развития автоматизации управления ТО на основе широкого использования информационных технологий.

Информационная система управления ТО включает три уровня:

1) сбор данных – осуществляется путем мониторинга основных показателей, характеризующих состояние контролируемой машины;

2) аналитическая обработка данных – проводится в автоматизированном режиме с помощью методов статистической обработки, математического моделирования, нечеткой логики, экспертных систем, нейросетевых и генетических алгоритмов (все эти методы составляют базу современных технологий прогнозирования);

3) управление информацией – интеграция и актуализация потоков информации, согласование внутренней информации ремонтного

предприятия с информацией, поступающей от других организаций, в частности, консалтинговых служб, информационных агентств и др.

Интеллектуальные системы находят наибольшее применение в диагностическом обслуживании, которое осуществляется в сочетании с телематикой, основанной на использовании сенсоров (рис. 3.3), благодаря чему обеспечивается глубокое проникновение в особенности работы машин и, как следствие, оптимизация процедур обслуживания с целью повышения работоспособности машин.

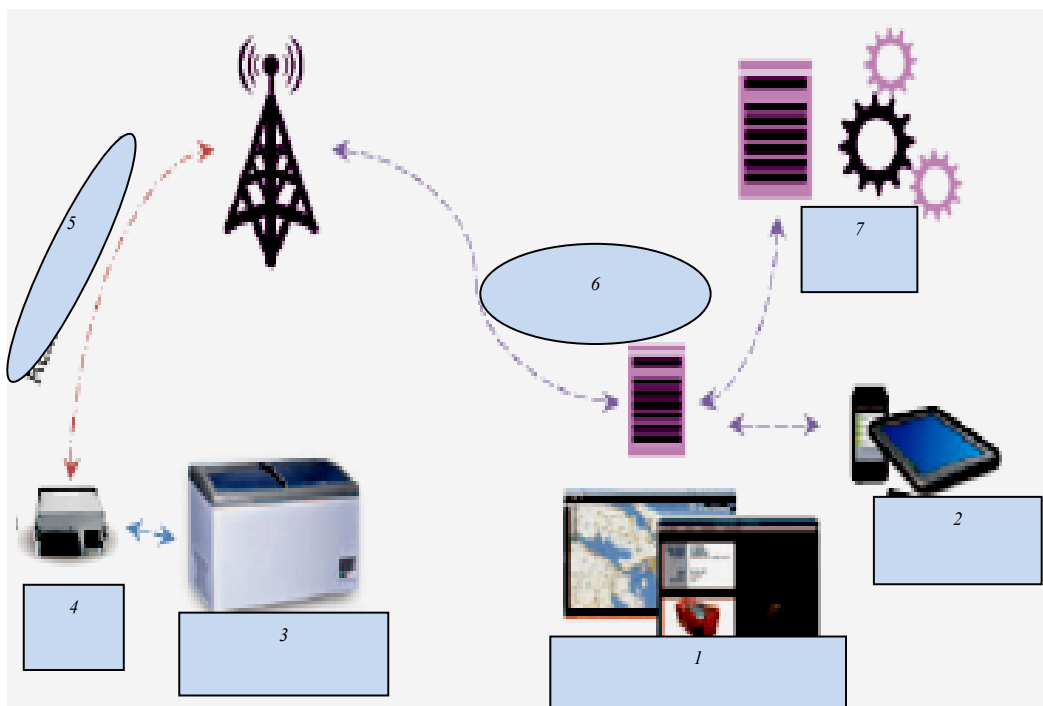
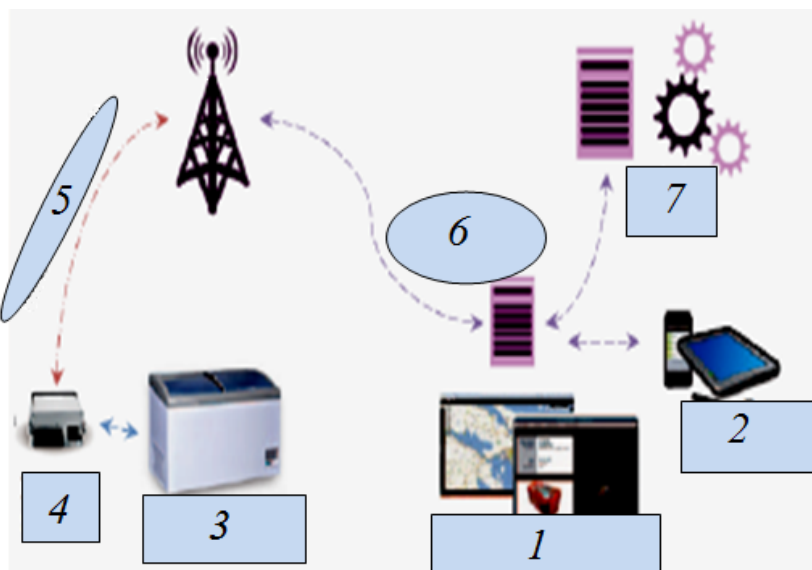


Рисунок 3.3 - Система диагностического обслуживания, использующая сенсоры и телематику

1 – центр контроля и управления, 2 – удаленное управление, 3 – внутренние сенсоры, 4 – внешние сенсоры, 5 – поток данных сенсоров в реальном времени, 6 – сбор данных, 7 – аналитическая обработка данных

Сенсоры, с помощью которых осуществляется диагностическое обслуживание, устанавливаются на удаленных машинах (мобильных или стационарных). Они передают потоки данных об условиях функционирования машин на станцию контроля, которая затем анализирует их в реальном времени, используя методы упреждающего анализа, и выявляет проблемы в поведении машин. При обнаружении таких проблем выполняются соответствующие действия, направленные на то, чтобы уведомить оператора о необходимости принятия корректирующих мер.

Станция контроля может работать в той же коммуникационной сети, что и сенсоры. Она также может быть соединена с сенсорами через глобальную сеть или посредством спутниковой связи.

Сенсоры в системе диагностического обслуживания выполняют следующие основные измерительные процедуры:

1) контроль температуры: тепловые индикаторы, такие как термочувствительные краски или термографы, помогают определять потенциальные повреждения, вызываемые изменениями температуры оборудования; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида измерений: чрезмерное трение, теплообмен, плохие электрические соединения;

2) контроль движения: методы спектрального анализа, а также анализа импульсных ударных воздействий позволяют определять энергию, излучаемую оборудованием в форме волн, вибрации, импульсов и акустических эффектов; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида измерений: износ и разрыв, разбалансировка, несоосность, смещения, внутренние повреждения поверхности;

3) анализ жидкостей: ферроанализ и счетчики частиц-загрязнителей обеспечивают контроль состояния различных масел (смазочных, гидравлических, трансформаторных) и, как следствие, выявляют потенциальные проблемы, вызывающие износ и повреждение машин; типичные проблемы такого рода: загрязнение масел, неподходящая консистенция и ухудшение их качества (при этом контролю подлежат внешний вид и вязкость масел, наличие примесей, загрязнений, растворенных газов и другие параметры);

4) контроль коррозии: методы коррометрии позволяют определять площадь распространения коррозии, ее скорость и состояние (активная или пассивная коррозия) для материалов, используемых в машинах;

5) неразрушающий контроль: основан на рентгеновских, ультразвуковых и других методах неразрушающего контроля, обеспечивающих определение роста потенциальных аномалий в машинах, в том числе в условиях их эксплуатации.

6) электрические испытания: высоковольтные испытания, анализ мощных сигналов и другие методы электрических испытаний позволяют определять изменения таких свойств компонентов машин, как электрическое сопротивление, индуктивность, диэлектрическая прочность и другие; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида контроля: ухудшение электрической изоляции, повреждение электрических проводников двигателя и др.

После того как все измерительные процедуры завершены, следует определить, что в поведении машины является приемлемым, и что аномальным. С учетом того, что диагностическое обслуживание является дорогостоящим, его целесообразно проводить в тех случаях, когда затраты, связанные с последствиями аномалий, гораздо больше, чем стоимость обнаружения этих аномалий.

При проведении диагностического обслуживания важно установить частоту выполняемых измерений. При этом следует учитывать тот факт, что большинство повреждений оборудования не случаются внезапно и часто можно определить их на финальной стадии их развития. Если становится ясным, что какие-либо части машины находятся на финальной стадии развития повреждений, то имеется возможность предотвратить эти разрушения полностью или избежать их последствий.

Характер развития повреждения в процессе функционирования большинства машин показан на рисунке 3.4. В ходе работы, спустя какой-то период времени, машина входит в фазу потенциального отказа (П) и начинают проявляться ранние признаки износа и разрушения или иного стрессового поведения и, если не принять соответствующих мер, то, в конце концов, наступит полный функциональный отказ (Ф). Как правило, интервал между точками П и Ф достаточно большой, что позволяет своевременно установить и предотвратить разрушение.

Состояние оборудования

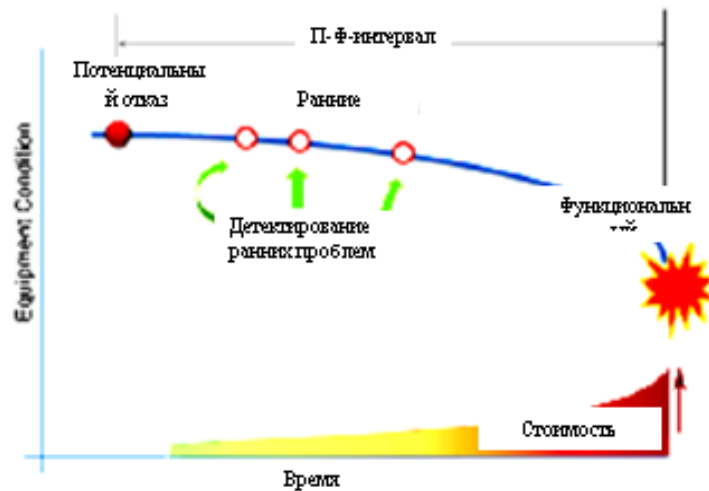


Рисунок 3.4 - Развитие повреждения в процессе функционирования машины

При разработке экономически эффективной стратегии диагностического обслуживания желательно, чтобы П–Ф-интервал был, по возможности, максимальным. Он может составлять часы или дни, недели или месяцы в зависимости от сложности машины. Однако независимо от длительности П–Ф-интервала система диагностического обслуживания должна быть способной определить ранние сигналы после момента П и ответить на них до момента Ф. Ответные действия обычно включают ряд шагов и должны осуществляться в пределах П–Ф-интервала.

В пределах каждого такого интервала система диагностического обслуживания собирает данные от сенсоров и использует один из следующих методов для определения состояния машины, подвергаемой мониторингу:

- трендовый анализ (сравнение значений одного и того же показателя за несколько периодов времени для выявления основной тенденции изменения показателя);
- распознавание образов (установление соотношения между определенными типами повреждений и конкретными повреждениями машины);
- критические интервалы (проверка наличия данных в пределах критических интервалов);
- статистический анализ процесса (данные о существующих повреждениях подвергаются аналитическим процедурам, чтобы найти точную модель кривой разрушения, и новые данные сравниваются с

этой моделью для идентификации какого-либо потенциального повреждения).

Системы диагностического обслуживания машин, построенные на основе использования сенсорного мониторинга в реальном времени и телематических технологий, обладают высокой гибкостью и обеспечивают значительные экономические выгоды. Основные преимущества диагностического обслуживания по сравнению с традиционными видами ТО: удаленный сенсорный мониторинг и сбор данных, обработка сенсорных данных в режиме реального времени, упреждающий анализ.

Типичная архитектура системы удаленного контроля и диагностики машин включает три основные части: модуль получения и обработки данных, модуль представления данных и сайт клиента.

Модуль получения и обработка данных включает программу, которая анализирует данные с приборов удаленного контроля (сенсоров), веб- или видеокамер, микрофонов, усилителей или формирователей сигналов, карт приема данных-карт и т. д. Сенсоры собирают текущие вибрационные сигналы с контролируемых машин и затем передают собранные сигналы на усилители. Усилители переводят сигналы в приемлемый формат, так что карты приема данных могут преобразовывать их в цифровые сигналы для дальнейшего анализа дефектов. Диагностическая программа на сервере анализирует цифровые сигналы и затем определяет состояние контролируемой машины.

Работа системы основана на использовании Интернет-технологий и мобильных коммуникационных технологиях. Система работает на языке XML, служащем для шифровки диагностических данных. Система представляет данные не только в WEB (Интернет-пространство), но и в WAP (Wireless Application Protocol – беспроводной протокол передачи данных, созданный специально для сетей GSM, где нужно устанавливать связь портативных устройств, таких как мобильные телефоны, пейджеры, устройства двусторонней радиосвязи, смартфоны и другие терминалы, с Интернет). Пользователи могут проверять состояние машины, включая данные, изображение и видео, через Интернет и мобильные терминалы. Автоматический компонент тревоги, разработанный на основе оперативной системы Microsoft Smartphone, может активно посылать тревожные сообщения на мобильные телефоны операторов о том, что состояние машины ненормальное.

Основным назначением диагностики машин является повышение их надежности путем раннего обнаружения дефектов, оптимизации рабочих процессов и технического обслуживания. Однако существующие системы диагностирования не способны адаптироваться

к изменению внешних условий и внутреннего состояния объекта диагностирования. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется совершенствованию систем диагностирования на основе нейросетевых методов моделирования многомерных зависимостей как перспективному направлению развития искусственного интеллекта. Интеллектуальная диагностика позволяет решать широкий круг задач, однако теория и методы создания интеллектуальных систем еще до конца не построены.

Интеллектуальная диагностика представляет собой совокупность средств, позволяющих строить надежные и адекватные модели диагностируемых сложных технических объектов и процессов по экспериментальным данным, обладающих способностью адаптироваться к изменениям во внешней и внутренней средах диагностируемого объекта (процесса), что достигается обучением (переобучением). Инструментальным базисом для осуществления интеллектуальной диагностики является теория распознавания образов и методы нейроинформатики. Основная задача интеллектуальной диагностики – быстрое распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Алгоритмы распознавания в технической диагностике основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов. Важная часть проблемы распознавания – правила принятия решений (решающие правила). Решение задач диагностики (отнесение изделий к исправным или неисправным) связано с рисками ложной тревоги или пропуска цели, поэтому для принятия обоснованного решения целесообразно привлекать методы теории статистических решений. Кроме того, решение задач диагностики связано с прогнозированием надежности, поэтому принимаемые решения должны основываться на моделях отказов, изучаемых в теории надежности.

Процесс интеллектуального диагностирования состоит из ряда этапов, выполнение которых позволяет получить математическую модель объекта или процесса, необходимую для осуществления диагностических мероприятий. Схема поэтапного процесса интеллектуального диагностирования показана на рисунке 3.5.

С появлением Интернета и беспроводных систем связи возникли существенные изменения в методологии проведения ТО, а именно: наметился переход от традиционного ТО, осуществляемому по принципу «выявление и устранение неисправности», к ТО, которое проводится по принципу «предсказание и предотвращение неисправности». Соответственно, появилась все возрастающая потребность в применении интеллектуальных средств, которые в

большей мере отслеживают процесс ухудшения технического состояния эксплуатируемых машин, чем выявляют уже возникшие неисправности. Такое интеллектуальное прогнозирование рассматривается как перспективный системный подход к ТО, в рамках которого становится возможным не просто контролировать техническое состояние машин, но, что особенно важно, определять возможные изменения показателей технического состояния с течением времени, предсказывать риски неприемлемого поведения машин по мере их эксплуатации, выявлять детали и узлы машин, которые могут выходить из строя в первую очередь.



Рисунок 3.5 - Схема процесса интеллектуальной диагностики

3.4 Интеллектуальное прогнозирование неисправностей

В Университете Цинциннати и Университете Мичигана (США) разработана интеллектуальная система Watch-dog Agent, предназначенная для контроля и прогнозирования технического состояния машин, которая позволяет количественно оценивать техническое состояние основных деталей и узлов машин и предсказывать его возможное ухудшение. Действие системы можно пояснить на примере стендовых испытаний подшипников (рис. 3.6). Четыре подшипника устанавливали на одном валу, который вращался с постоянной скоростью. На вал и подшипники налагалась радиальная нагрузка при помощи пружинного механизма. На корпусе каждого подшипника размещали высокочувствительные акселерометры. К внешнему кольцу каждого подшипника были прикреплены

термоэлементы, регистрирующие температуру подшипников, по которой можно было судить о состоянии смазки. Магнитный коллектор собирал частицы износа из смазочного масла, наличие которых свидетельствовало о том, что имеет место процесс изнашивания подшипников. Испытания прекращались, когда количество собранных частиц износа достигало определенной величины.

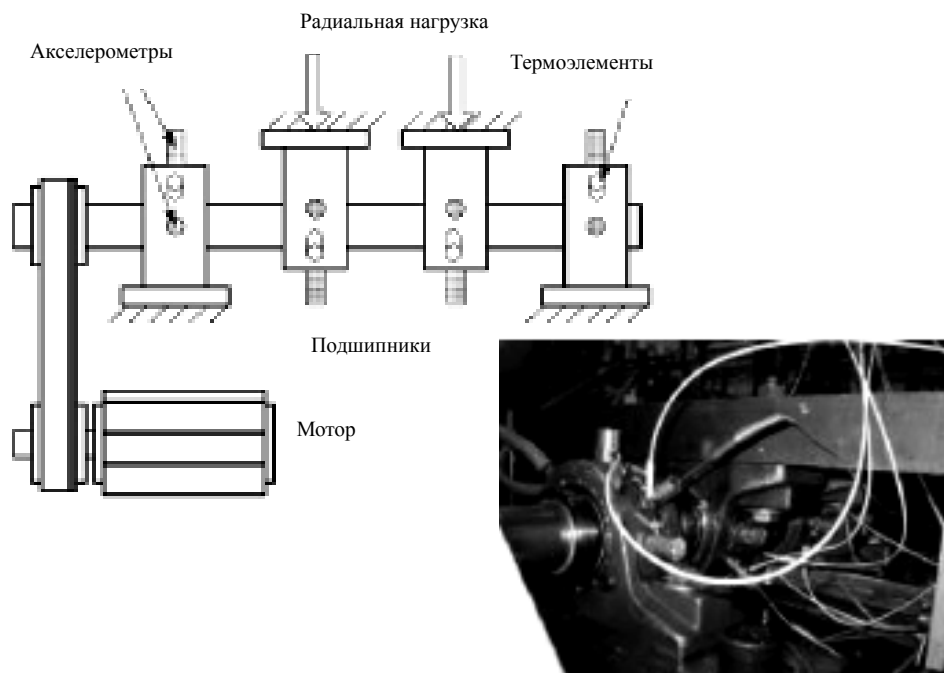


Рисунок 3.6 - Установка для испытания подшипников

Испытания показали, что в течение большей части времени работы подшипников в их материале идет накопление повреждений, в то время как период распространения трещин является относительно коротким. На рисунке 3.7, *а* показана волнообразная кривая сигнала, полученная от одного из подшипников на последней стадии испытаний. Сигнал представляет собой последовательность ярко выраженных импульсов, что обусловлено ударными воздействиями, генерируемыми образующимися дефектами дорожки качения подшипника. Для сравнения на рисунке 3.7, *б* показана кривая сигнала, полученная от этого же подшипника на ранней стадии испытаний. На данной кривой импульсы весьма незначительны и практически перекрываются шумовым фоном.

Таким образом, если в традиционном ТО дефекты выявляются на завершающей стадии их развития – по фактам сбоев в работе машин, вызванных этими дефектами, то в интеллектуальном ТО, основанном на прогностическом подходе, дефекты выявляются на ранней стадии их

развития, так что имеется достаточно времени для проведения ТО с целью предотвращения возможных сбоев.

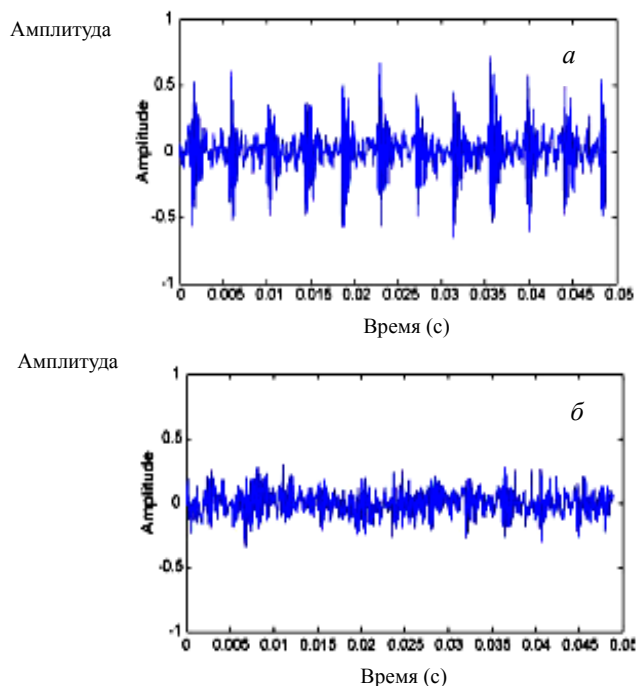


Рисунок 3.7 - Кривые сигналов от испытуемых подшипников

3.5 Диагностика сельскохозяйственных машин

Одним из основных направлений интеллектуализации ТО сельскохозяйственных машин, служащих для выполнения полевых работ, является разработка систем дистанционной диагностики их технического состояния на основе использования информационных технологий и устройств телематики. Особенно эффективным является комплексный подход к управлению работающими на поле сельскохозяйственными машинами, при котором работники сельхозпредприятий получают возможность, не выходя из кабинета, отслеживать в реальном времени все аспекты функционирования машин – не только их техническое состояние, но также местоположение, расход топлива, производительность, текущий объем выполненных полевых работ (например, намолот). Все это осуществляется путем анализа соответствующей информации, поступающей по беспроводным каналам связи от машин на офисный компьютер и отображающейся на его экране.

Такого рода подход к управлению сельскохозяйственными машинами реализован фирмой Claas в системе ClaasTelematics (рисунок 3.8). Установленный в машине сенсорный модуль собирает

требуемые данные (в том числе GPS) и с помощью мобильной связи отправляет их на сервер Telematics. Таким образом, ремонтно-техническая служба сельхозпредприятия может провести первичный удаленный анализ технического состояния машин, оперативно определить причины сбоев в работе машин, провести соответствующие подготовительные работы и в кратчайшие сроки оказать помощь на месте.

Фирмой Claas также разработано программное обеспечение UT App. Оно предназначено для iPad или планшетов на базе Android, которая превращает их в терминал ISOBUS для управления машинами. Таким образом, с помощью обычного планшета можно удаленно контролировать работу машин, в том числе осуществлять диагностику их технического состояния.

Компания John Deere предложила систему удаленного доступа к терминалам сельскохозяйственных машин Remote Display Access, пользуясь которой специалист по обслуживанию машин может видеть на дисплее компьютера, находящегося в офисе сельхозпредприятия, то же самое, что видит комбайнер или тракторист на дисплее компьютера, который установлен на машине и управляет ее рабочими органами. Благодаря этому он может оказать оператору машины своевременную помощь в настройке узлов машины, исправить ошибки программного обеспечения, а также дать рекомендации по проведению полевых работ, например, по внесению удобрений или средств защиты растений.

Сравнительно новым продуктом деятельности компании John Deere является система интеллектуального управления сельскохозяйственным производством John Deere FarmSight, призванная содействовать оптимизации работы машин и сельхозпредприятий. Система предусматривает широкое применение беспроводной связи на земледельческих и животноводческих фермах. Она соединяет в единую сеть машины, операторов и владельцев в интересах повышения эффективности производства за счет совместного пользования информацией.

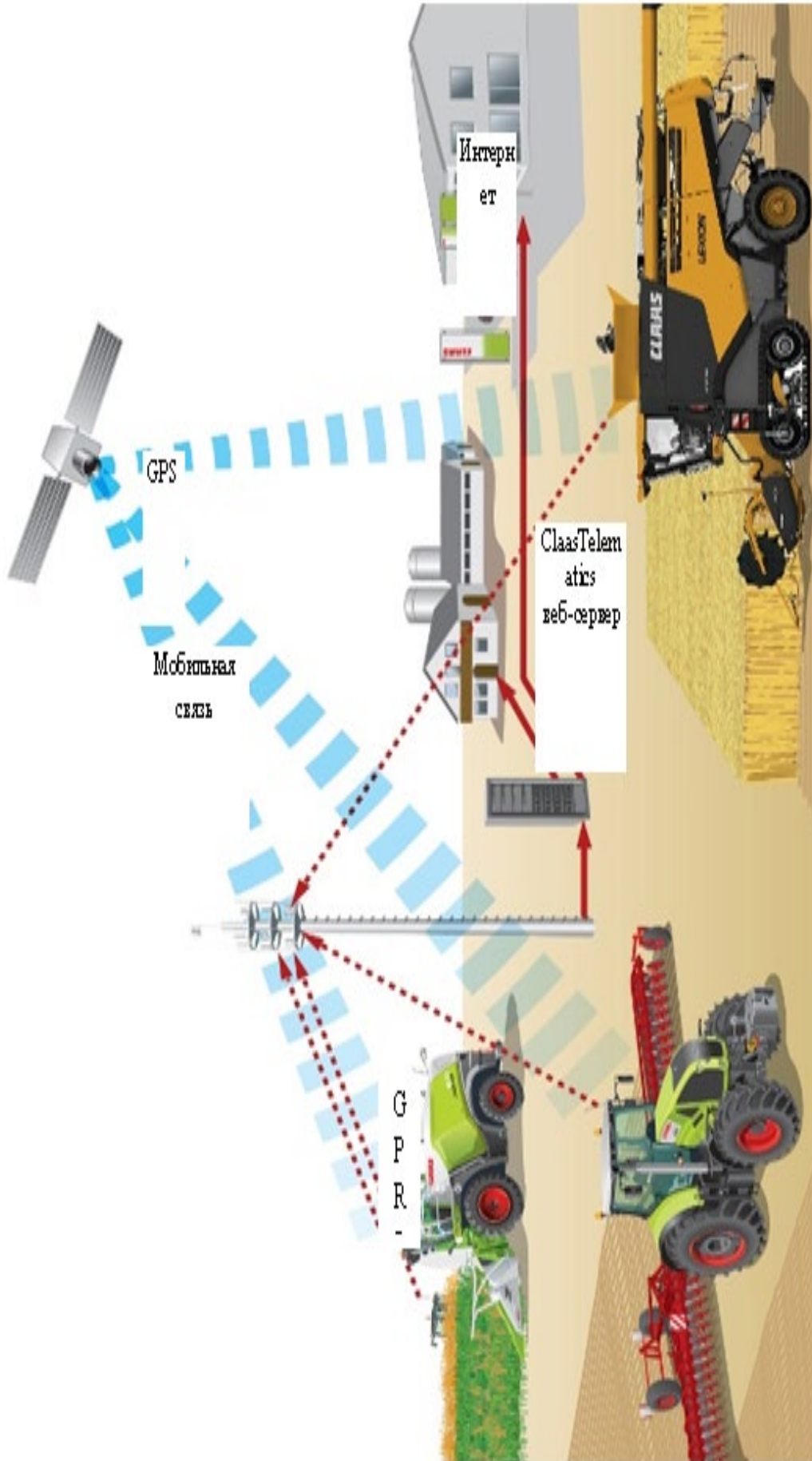


Рисунок 3.8 - Система управления сельскохозяйственными машинами ClaasTelematics

Телематическая система Link Ultimate компании John Deere осуществляет дистанционный контроль местоположения машины и расхода топлива, а также дистанционную диагностику и планирование предупредительного ТО или ремонта. При этом машина автоматически генерирует и посылает сообщения по электронной почте или мобильному телефону (SMS) при возникновении потребности в ТО или ремонте. Благодаря применению такой системы повышается эффективность диагностирования и устранения неисправностей машин и, как следствие, снижается простой машин.

Практическая реализация дистанционной диагностики сельскохозяйственных машин в режиме реального времени сопряжена с рядом трудностей, обусловленных большой номенклатурой различных по исполнению машин, низкой приспособленностью машин к контролю, разнообразием физических величин контроля, значительной вариацией режимов работы и состояния машин.

Так, из диагностических параметров тракторных дизелей целесообразно достоверно и непрерывно контролировать следующие:

- текущий расход топлива, например, по динамике снижения зеркала топлива в баке или уменьшения давления столба топлива на придонный датчик;

- эффективную мощность, например, по расходу топлива с корректировкой на плотность топлива и эффективный КПД дизеля;

- параметры картерных газов (температура, пульсации давления на микрофон);

- оптическую плотность, удельное сопротивление, обводненность масла;

- цвет, уровень звука и температуру отработавших газов;

- давление наддува турбокомпрессором и разрежение за воздухоочистителем;

- виброускорения на блоке цилиндров в зонах газораспределительного механизма и коренных подшипников.

При разработке системы дистанционной диагностики сельскохозяйственных машин следует учитывать определенные требования. Контроль технического состояния машин в режиме реального времени должен охватывать основные параметры функционирования узлов, в том числе ресурсные параметры, а также показатели выполнения полевых работ. В бортовой системе контроля должны накапливаться сигналы о совместной работе тракторов и агрегированных с ними сельхозмашин, другие технико-эксплуатационные данные для автоматического диагностирования машин с выдачей рекомендаций о проведении ТО по фактической потребности. Также необходимо принять меры по оснащению тракторов и мобильных сельхозмашин системой датчиков и нормативов для контроля функционирования их узлов и рабочих органов.

По мере реализации предупредительной диагностики с использованием мониторинга в системе ГЛОНАСС/GPS могут быть предложены мероприятия по модернизации всей системы технического сервиса машин АПК, благодаря чему станет возможным вести историю технического состояния машин за весь жизненный цикл от ввода в эксплуатацию до утилизации.

Для моделирования процессов принятия решений при эксплуатации современных сельскохозяйственных машин нового, интеллектуального типа разработан метод организации ТО, отличительной особенностью которого является использование эвристик и нечетких знаний.

Данный метод основан на использовании экспертных систем. Моделирование процессов принятия решений при технологической регулировке и поиске неисправностей основано на теории искусственного интеллекта и теории нечетких множеств. Практическая реализация этих процессов связана с решением задач по проектированию экспертных систем, а именно: по разработке информационно-логической модели предметной области; разработке архитектуры экспертной системы; формировании базы знаний экспертной системы; создании программных средств.

Экспертная система работает в двух режимах: приобретение знаний и решение задачи.

В режиме приобретения знаний формируется база знаний. При этом главная роль отводится входящему в состав системы блоку приобретения знаний, который реализуется как самостоятельная программа, позволяющая эксперту в автоматизированном режиме формировать базу знаний, в том числе дополнять, удалять и редактировать знания.

В режиме решения задачи в системе включаются в действие следующие блоки:

- диалоговый блок ввода информации обеспечивает естественно-языковой интерфейс с пользователем;
- блок поиска причин неисправностей содержит перечень возможных неисправностей и методов их устранения;
- блок настройки содержит описание технологических регулировок рабочих органов для различных условий функционирования;
- блок анализа ситуации содержит описание условий уборки;
- блок поиска причин появления отклонений показателей качества технологического процесса от допустимых значений содержит перечень возможных отклонений и методов их устранения;
- блок механизмов вывода формирует решение задачи на основе текущей информации, полученной от пользователя (либо от датчиков), правил и фактов о предметной области;
- блок объяснения решений позволяет разъяснить пользователю, каким образом получено то или иное решение, какие правила и почему при этом использовались;

– блок синтеза ответа является конечным звеном в работе экспертной системы;

– блок обучения включает подсистемы мультимедиа для наглядного представления протекающих процессов и устройства различных элементов систем и агрегатов комбайна.

Главное преимущество построения экспертной системы заключается в компактном и адекватном представлении реальных ситуаций функционирования уборочных машин. Система обеспечивает возможность учета признаков внешней среды, параметров технического машины и показателей качества работы.

3.6 Диагностика транспортных машин

В АПК широко применяется автомобильный транспорт, который представляет собой довольно сложную технику, характеризующуюся высокой степенью автоматизации и компьютеризации. В современных автомобилях создан ряд нетрадиционных для автомобиля еще в недалеком прошлом систем автоматического управления, таких, как электронная система управления двигателем, электронная система управления трансмиссией, антиблокировочная система, система автоматического контроля пробуксовывания и другие. Главной особенностью таких систем является обязательное наличие в их составе электронного блока, который управляет всеми остальными составными частями системы.

Включение в конструкцию автомобиля сложных электронных устройств управления различными системами на базе бортового компьютера привело к необходимости развития различных форм и методов оказания услуг по диагностике, ремонту и настройке компонентов бортовой электроники на этапе эксплуатации автомобиля [8].

В последние годы особенно большое распространение получила компьютерная диагностика автомобиля – комплексная проверка электронных устройств и исполнительных механизмов автомобиля на наличие в них неисправностей с целью их последующего устранения. В процессе эксплуатации автомобиля важная роль отводится бортовым системам самодиагностики.

Компьютерная диагностика

Компьютерная диагностика может проводиться непосредственно на автомобиле (на открытых площадках), а также в сервисных центрах и мастерских по ремонту автомобилей, цехах, отделах технического контроля и лабораториях производственных предприятий. Для обеспечения контроля работы систем на автомобиле в дорожных условиях, например при обкатке автомобиля, обычно используется персональный компьютер (ноутбук).

Принято выделять следующие основные стадии компьютерной диагностики:

- создание и передача под управлением персонального компьютера через диагностический интерфейс (адаптер), выполненный в соответствии со стандартом ISO 9141, электрических сигналов, инициализирующих связь с конкретным электронным блоком;
- прием информации от электронного блока, поступающей по диагностическому каналу;
- преобразование информации в сигналы стандарта RS 232C;
- обработка полученных данных по заданной программе и отображение результатов на экране персонального компьютера.

Диагностическая программа позволяет получать информацию о текущих неисправностях системы, если они имеются, а также о тех неисправностях, которые были ранее, но в данный момент отсутствуют. Кроме того, с ее помощью могут быть получены сведения о номере электронного блока, его изготовителе и дате изготовления, версии программного обеспечения, дате последнего изменения параметров.

С электронного блока системы управления двигателем могут быть считаны данные об общей наработке двигателя (суммарное число полных оборотов коленчатого вала, моточасы работы), об общем пробеге автомобиля и пробеге после последнего ТО и т. д.

Обычно в автомобиле компьютерной диагностике подвергаются двигатели (бензиновые и дизельные), а также разнообразные электронные системы: система удержания при столкновении, антиблокировочная система, система курсовой устойчивости, парковочный ассистент, пневматическая или гидравлическая система регулирования дорожного просвета, система контроля давления в шинах, климатическая установка, коммуникационная система и др.

Особое внимание отводится компьютерной диагностике двигателя автомобиля (рисунок 3.9), которая состоит из следующих операций:

- считывание кодов неисправностей из памяти электронного блока управления двигателем;
- анализ считанных кодов неисправностей;
- проверка параметров работы датчиков при помощи диагностического компьютера;
- проверка формы сигналов датчиков при помощи осциллографа;
- тестирование исполнительных механизмов;
- диагностика системы зажигания бензинового двигателя;
- проверка топливного давления;
- электронный замер компрессии;
- механический замер компрессии;
- визуальный осмотр свечей зажигания и воздушных фильтров;
- заполнение электронной формы результатов диагностики.



Рисунок 3.9 - Компьютерная диагностика двигателя в сервисном центре

Вибродиагностика автомобиля

Одним из путей повышения эффективности диагностирования автомобилей является совершенствование используемых в целях диагностики методов неразрушающего контроля, в частности, виброакустического метода, основанного на косвенных виброакустических признаках неисправностей.

Преимущество использования косвенных параметров при диагностировании состоит в их доступности, а также в технической простоте, поскольку контроль косвенных параметров не требует разборки механизмов и может осуществляться с минимальными подготовительными операциями. Однако обработка результатов косвенных измерений требует детального анализа получаемой при этом информации, систематизации и комплексной оценки всей совокупности диагностических данных.

Виброакустический метод диагностирования хорош тем, что позволяет определять дефекты автомобиля дистанционно. Однако, несмотря на длительную историю своего развития, этот метод применительно к автомобилям до недавних пор характеризовался сравнительно невысокой степенью объективности. Дело в том, что механизмы автомобиля издают широкий спектр звуков, колеблющиеся поверхности корпусных деталей распространяют акустические волны в примыкающей к ним окружающей среде – как в воздухе, так и в других деталях автомобиля. Поэтому распознать и правильно интерпретировать информативный сигнал на фоне значительных помех, определить его параметры и сделать правильный прогноз – довольно сложная задача даже для высококвалифицированного специалиста.

Возможности вибродиагностики могут быть значительно расширены благодаря использованию современных программно-аппаратных средств. Однако эти средства не в состоянии полностью заменить субъективные ощущения эксперта. Поэтому представляется перспективным применение комбинированных экспертных систем, в

которых эксперт и программно-аппаратные средства взаимно дополняют друг друга.

С целью повышения эффективности таких систем практически важно установить закономерности, связывающие субъективно воспринимаемые «на слух» и объективно отображаемые виброакустические сигналы с параметрами технического состояния автомобиля. Для решения задач формализации трудно вербализуемых (интуитивных или нечетких для самого эксперта) представлений предлагаются следующие пути:

- учет в базе знаний интуитивных представлений эксперта, например, проявляющихся в форме ассоциаций;
- отображение в формализмах базы знаний степени уверенности эксперта в сообщаемых представлениях;
- отражение на входе системы того, что можно характеризовать термином «сомнения» в воспринимаемых экспертом объективных и/или субъективных признаках.

Для того чтобы улучшить возможности учета сложных взаимосвязей признаков, которые в явной или неявной субъективной форме принимаются во внимание экспертами в процессе диагностирования, перспективно использовать современные экспертные системы, основанные на теории нечетких множеств.

Степень практической применимости вибродиагностики автомобилей, ее достоверность и содержательность могут быть существенно повышены по мере развития компьютерных методов преобразования и обработки виброакустических сигналов, все более широкого использования компьютерных средств для сбора и анализа информации, а также экспертных систем, создаваемых на их основе.

В большинстве случаев при диагностировании решения принимаются в условиях закономерной неопределенности, в среде нечетких знаний. Поэтому дальнейшее совершенствование техники диагностирования связано с использованием нечетких лексических переменных в рамках нечеткой логики. В отличие от традиционных математических методов, требующих на каждом шаге моделирования точных и однозначных формулировок закономерностей, нечеткая логика предлагает иной вид мышления, при котором моделирование происходит на более высоком уровне абстракции. Большие возможности и простота реализации нечеткой логики как методологии решения проблем диагностирования предопределяют ее успешное перспективное использование.

Бортовые системы самодиагностики

Главной задачей бортовой диагностики является определение изменений параметров электрооборудования (электронных систем) автомобиля с учетом их влияния на его работу. Для этого каждая электронная система имеет разъем для присоединения диагностической

аппаратуры или же имеет выход на центральный пункт бортовой диагностики – бортовой компьютер. Для бортовой диагностики электронных систем применяют испытательное специальное оборудование, созданное с возможностью совмещения с бортовой системой диагностики.

Наличие большого числа электронных устройств в автомобиле, от работы которых сильно зависит работа автомобиля в целом, обуславливают необходимость ужесточения требований к их надежности, что, в свою очередь, заставляет уделять повышенное внимание вопросам их технического обслуживания, прежде всего, диагностики их технического состояния. Наиболее эффективный путь решения этих вопросов – наделение электронных устройств функциями самодиагностики.

Бортовые системы самодиагностики, которыми оснащаются электронные устройства современных автомобилей, не только снабжают водителя сведениями о работе автомобиля в целом, но также информируют его о возникающих неисправностях узлов и агрегатов, отслеживают межсервисные интервалы, напоминая о необходимости своевременно пройти ТО автомобиля.

Так, на приборном щитке автомобилей обычно имеется многофункциональный индикатор – лампочка CheckEngine, которая загорается при включении зажигания и гаснет, спустя некоторое время после запуска двигателя. Если в результате самодиагностики обнаруживаются неисправные компоненты, то индикатор не погасает. Индикатор также загорается при возникновении некоторых неисправностей во время движения. Если имеют место мелкие, возникающие однократно неисправности, то индикатор может погаснуть, сохранив при этом данные о неисправностях в памяти для последующего считывания.

К основным функциям бортовых систем самодиагностики относятся:

- контроль работы наиболее сложных узлов, прежде всего, двигателя;

- контроль технического состояния узлов и деталей, подвергающихся особому риску в случае появления неисправностей (например, функция защиты каталитического нейтрализатора заключается в реагировании на пропуски зажигания в двигателе путем отключения подачи топлива в неисправный цилиндр для предотвращения перегрева нейтрализатора);

- контроль аварийных ситуаций (например, при выходе из строя датчика нагрузки, определяющего массовый расход воздуха, генерируется сигнал его замены – по результатам контроля частоты вращения коленчатого вала и положения дроссельной заслонки).

Бортовые системы самодиагностики обеспечивают хранение информации о контролируемых параметрах и выявленных неисправностях.

В последние годы в автомобилях получают все большее распространение интеллектуальные датчики, которые имеют собственные встроенные микропроцессорные устройства для первичной обработки сигнала, например для аналого-цифрового преобразования, амплитудно-частотного анализа, интегрирования или внесения поправок с учетом характеристик датчика. При этом большое значение имеет возможность предсказания поведения исследуемой системы на как можно большем отрезке времени. Особое значение в алгоритмах предсказания имеет проблема раннего обнаружения начала опасного или аварийного развития событий путем выявления и регистрации сбойных состояний.

В этой связи приобретает особую важность совершенствование методов диагностирования различных датчиков указанного типа. Это обусловлено в основном двумя обстоятельствами: интеллектуализацией процесса диагностирования и обнаружением отклонений характеристик датчиков на ранних стадиях возникновения, связанных с их скрытыми дефектами, проявляемыми, например, в виде сбойных и предсбойных состояний. Одним из путей решения данной проблемы является использование методов программно-алгоритмического контроля, получивших распространение в последнее время из-за широкого внедрения микропроцессорной техники в автомобильный транспорт.

Диагностика сбоев элементов автомобильной электроники

Современный автомобиль оснащен разнообразными мехатронными системами, которые в своем развитии имеют тенденцию к миниатюризации. В частности, наблюдается увеличенное использование интеллектуальных микроэлектронных автомобильных датчиков. Развитие элементной базы, усложнение программного обеспечения решаемых задач и ужесточение условий эксплуатации автомобилей требует совершенствования методов повышения их надежности. В этой связи повышенное внимание уделяется различным интеллектуальным системам для определения работоспособности электронных устройств автомобиля. В частности, все большее распространение получают интеллектуальные датчики, имеющие собственные встроенные микропроцессорные устройства для первичной обработки сигнала, например для аналого-цифрового преобразования, амплитудно-частотного анализа, интегрирования или внесения поправок с учетом характеристик датчика. Особое значение приобретают вопросы предсказания поведения исследуемой системы на как можно больший отрезок времени, в частности, разработка методов раннего обнаружения начала опасного или аварийного развития событий посредством выявления и регистрации сбойных состояний.

При этом ведущая роль отводится базовому диагностированию микропроцессорной системы управления двигателем, прежде всего, различных датчиков, включая датчики потенциометрического типа как наиболее уязвимые вследствие наличия контактных соединений. Совершенствование методов диагностирования датчиков обусловлено интеллектуализацией процесса диагностирования и обнаружения отклонений характеристик датчиков на ранних стадиях их возникновения, связанных со скрытыми дефектами.

Одним из путей развития интеллектуальной диагностики автомобилей является использование методов программно-алгоритмического контроля, которые получили распространение в последнее время из-за широкого внедрения микропроцессорной техники автомобильный транспорт. В частности, предложено устройство для интеллектуальной диагностики сбоев автомобильных датчиков, содержащие бесконтактный датчик сбоев, установленный на двигателе параметрический датчик, блок совпадений, многоуровневый компаратор, блок определения задержки сигналов и блок светозвукоиндикации, причем бесконтактный датчик сбоев соединен со входом микроконтроллера и блоком свето-звукоиндикации непосредственно, параметрический датчик совместно с выходом первого диагностируемого на «сбой» датчика – через блок совпадений (элемент «И»), а второй диагностируемый на «сбой» датчик – через последовательно включенные многоуровневый компаратор и блок определения задержек сигналов.

Контрольные вопросы

1. Какие информационно-коммуникационные технологии используются для мониторинга технического состояния машинно-тракторного парка?
2. Приведите примеры бортовых систем контроля, применяемых в транспортных машинах в процессе эксплуатации.
3. Что представляет собой интеллектуальная диагностика машин?
4. Чем отличается интеллектуальное техническое обслуживание, основанное на прогностическом подходе, от традиционного технического обслуживания?
5. В чем состоят принцип работы и функциональные возможности систем дистанционной диагностики технического состояния машин?
6. Назовите основные стадии компьютерной диагностики машин.
7. Что представляет собой вибродиагностика машин?
8. В чем различие между бортовыми системами диагностики и самодиагностики машин?
9. Каковы особенности интеллектуальной диагностики сбоев элементов электроники транспортных машин?

ГЛАВА 4

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАНОТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1 Интегрированные упрочняющие технологии

Вибрационное механохимическое нанесение покрытий

Совмещение оксидирования деталей из алюминия и его сплавов с вибрационной обработкой (ВО) позволяет улучшить качество поверхностного слоя, повысить коррозионную стойкость деталей. Это объясняется особенностями процессов ВО, заключающейся в пластическом деформировании поверхностного слоя металла, которое приводит к накоплению дислокаций в поверхностном слое, увеличивая адсорбционную активность и реакционную способность поверхности. Кроме того, скользящий удар вызывает разрушение оксидной пленки, разрыхление поверхностных слоев, образование ювенильных участков, что также способствует увеличению адсорбционной активности и реакционной способности поверхности. Таким образом, благодаря ВО достигается надлежащая структура поверхностного слоя и чистота поверхности, что способствует получению качественных покрытий и прочному сцеплению их с основой.

Важная особенность ВО состоит в создании пор в оксидной пленке, формируемой химическим способом, которые обеспечивают приток оксидирующего раствора к поверхности металла.

При совмещении ВО и оксидирования можно использовать ряд растворов, позволяющих получать покрытия с разными свойствами, что расширяет область их применения. Так, в щелочно-хроматных растворах формируются пленки с небольшой механической прочностью, что ограничивает их применение в основном в качестве грунта под лакокрасочные покрытия. Пленки, полученные в фосфатно-хроматных растворах, обладают более высокой механической прочностью и защитной способностью, что позволяет использовать их в качестве антикоррозионных покрытий. Особенностью пленок, сформированных в хроматно-фторидных растворах, является низкое электросопротивление.

Разновидностью оксидирования является химическое пассивирование, широко применяемое для защиты от коррозии деталей из алюминиевых сплавов. Получаемые при пассивировании пленки имеют небольшую толщину, но обладают сравнительно хорошими защитными свойствами. Нередко пассивирование применяют вместо анодного оксидирования в хромовокислом электролите кремнистых алюминиевых сплавов. Поэтому совмещение ВО и пассивирования представляет значительный практический интерес.

Технологические возможности комбинирования ВО и оксидирования не ограничиваются только обработкой деталей из

алюминия и его сплавов. Таким комбинированным способом также можно обрабатывать детали из меди и титана.

Титан и его сплавы имеют высокую удельную прочность, однако область их применения ограничена из-за некоторых присущих им недостатков, в частности, из-за наволакивания и задиранья металла, происходящего при трении титановых деталей. Для улучшения фрикционных свойств деталей из титана достаточно нанести оксидную пленку толщиной до 1 мкм. Оксидная пленка на титане, будучи пористой, способна удерживать жиры и масла.

Существенным препятствием прочному сцеплению металлических покрытий на титане и его сплавы является естественная оксидная пленка, которая мгновенно восстанавливается после ее снятия. Совмещение процессов очистки поверхности от окислов, осуществляемой благодаря ВО, с одновременным нанесением покрытия могло бы расширить область применения титана за счет создания на его поверхности новых свойств, обеспечиваемых покрытием.

Подобный эффект может быть достигнут при нанесении металлических покрытий на алюминий и его сплавы. Для успешного нанесения металлических покрытий требуется высокое качество подготовки поверхности алюминия, которое можно обеспечить за счет ВО. Так, свободная от окислов и обладающая высокой адсорбционной активностью обрабатываемая поверхность алюминия, находясь в растворе цинката натрия, покрывается тонкой, равномерной и плотной пленкой цинка, за счет близости электрохимических потенциалов алюминия и цинка в щелочной среде.

Обычно после химической подготовки поверхности (обезжиривания и травления), оксидная пленка, образующаяся на алюминии, является неоднородной, при ее разрушении в цинкатном растворе на активных участках растут дендритообразные кристаллы цинка. Этот недостаток устраняется снятием пленки и ее вторичным получением. Улучшение качества поверхностного слоя и чистоты обработки за счет ВО позволяет использовать одноразовое цинкование.

Таким образом, применение ВО в процессе нанесения покрытий способствует повышению их качества благодаря улучшенной подготовке поверхности, обеспечиваемой ВО.

Цементация металлических покрытий

Недостатком металлических покрытий, наносимых различными методами (наплавкой, гальваническим осаждением, газотермическим напылением и др.) является наличие в них остаточных растягивающих напряжений, которые отрицательно сказываются на усталостной прочности, износостойкости и других свойствах обрабатываемых деталей. Кроме того, эти покрытия имеют несплошности (поры) и другие дефекты структуры, которые заметно снижают их прочность.

Для устранения указанных недостатков и обеспечения высоких эксплуатационных характеристик деталей с нанесёнными на их поверхности покрытиями перспективно подвергать их химико-термической обработке. Насыщение металлических покрытий элементами из внешней среды (в основном азотом и углеродом) существенно изменяет химический и фазовый состав поверхностных слоёв, повышая твёрдость, создавая благоприятные внутренние напряжения, увеличивая прочность сцепления покрытий с основой и устраняя дефекты структуры.

Особый практический интерес представляет применение интегрированных упрочняющих технологий, которые сочетают нанесение на поверхности деталей из углеродистых сталей легированных покрытий с последующей цементацией или нитроцементацией в активных насыщающих средах. Обычно покрытия наносятся на крупногабаритные детали наплавкой или газотермическим напылением, а на детали небольших размеров – гальваническим осаждением бинарных сплавов на основе железа, содержащих хром, молибден, вольфрам или титан.

Для деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, на поверхности формируют глубокие слои, содержащие большое количество карбидов цементитного типа. Это достигается наплавкой на упрочняемые поверхности покрытий с содержанием 1-1,5% Сг и их последующим науглероживанием до заэвтектоидных концентраций, в результате чего на поверхности образуется большое количество цементита в виде изоморфных включений.

После закалки и низкотемпературного отпуска карбидосодержащий слой оказывает повышенное сопротивление воздействию абразива из-за высокой твёрдости карбидных частиц и, кроме того, имеет вполне удовлетворительную ударную вязкость, поскольку включения карбидов имеют равноосную форму и изолированы друг от друга участками сравнительно вязкой матрицы.

Абразивная износостойкость деталей после такой обработки определяется содержанием карбидов в диффузионном слое. Так, при их содержании более 70% износостойкость в кварцевом абразиве увеличивается на порядок.

Поверхностная карбидизация хромистых сталей проводится при температурах 900-920°C в пастообразном карбюризаторе, который состоит из газовой мелкодисперсной сажи с активизирующими добавками углекислого натрия или бария. В качестве пастообразователя можно использовать любой органический клей (КМЦ, ПВА и др.). Цементацию проводят в контейнерах или в печах с герметичными ретортами с подачей в рабочее пространство углесодержащей жидкости или газа. Скорость насыщения стали составляет 0,15-0,20 мм/ч, глубина карбидосодержащих слоёв достигает до 1 мм и более.

Аналогичный метод применяется для повышения износостойкости деталей, работающих в сопряжениях с недостаточной смазкой или совсем без смазки. Он заключается в создании на трущихся поверхностях графитосодержащих слоёв. При этом для обеспечения графитизации на поверхности деталей наносят покрытия, содержащие повышенное количество кремния, поскольку он способствует образованию графита при науглероживании.

Цементация кремнистых покрытий проводится в упомянутом выше карбюризаторе при температуре 950-980°C и длительности обработки 10-12ч. В результате такой обработки на поверхности кремнистого покрытия формируется графитосодержащий слой глубиной до 1 мм.

Для повышения содержания графита в диффузионном слое (до 20%) детали подвергают дополнительному графитизирующему отжигу при температуре 900-920°C и длительности обработки 8-10 ч.

Графит, содержащийся в поверхностных слоях изделий, играет роль твёрдой смазки в сопряжениях, снижая коэффициент трения (в 2-3 раза по сравнению со сталью) и не допуская схватывания контактирующих поверхностей.

Рассмотренный выше процесс графитизации наплавленных покрытий является довольно длительным и дорогим, поскольку требует использования высоких температур. В связи с этим целесообразно применять технологию ускоренной графитизации поверхностных слоёв стальных изделий посредством двухступенчатой (низко- и высокотемпературной) нитроцементации, для осуществления которой используется специальная паста на основе сажи, содержащая 40% железосинеродистого калия (азотосодержащий компонент) и добавки углекислого натрия и калия.

Первая ступень нитроцементации проводится при сравнительно низких температурах (600-650°C), при которых поверхность металла насыщается большим количеством азота. Для проведения второй ступени нитроцементации (собственно графитизации) температуру следует поднимать до 850°C. При этом происходит деазотирование поверхности с распадом высокоазотистых фаз и образованием дефектов структуры, которые заполняются углеродом, имеющим при этой температуре активность, гораздо более высокую, чем азот.

В итоге за довольно короткое время (650°C, 3 ч и 850°C, 3 ч) на поверхности изделия образуется графитизированный слой глубиной до 0,2 мм с содержанием графита до 7%. Степень графитизации при двухступенчатой нитроцементации ниже, чем при высокотемпературной цементации с графитизирующим отжигом, однако она достаточна для повышения износостойкости деталей.

Следует отметить, что покрытия, подвергаемые графитизации, не должны содержать хрома, который даже в небольших количествах подавляет графитизацию и способствует образованию карбидов при науглероживании.

Для деталей, работающих в условиях трения со смазкой, целесообразно использовать низкотемпературную химико-термическую обработку, которая позволяет получать на поверхности изделий нитридные и карбонитридные слои, характеризующиеся высокой твёрдостью и низким коэффициентом трения.

Покрyтия, наносимые на поверхности деталей при их комбинированном упрочнении, должны содержать нитридо- и карбидообразующие элементы (V, Mo, W, Ti, Cr, Al и др.), поскольку чистые нитриды (карбонитриды) железа имеют недостаточно высокую твёрдость и не могут обеспечить требуемый упрочняющий эффект.

Типичной интегрированной технологией упрочнения деталей, работающих в условиях граничного трения, является сочетание гальванического осаждения на их поверхность железохромистого покрытия толщиной 0,3 мм с последующим цианированием в соляной ванне на основе карбамида с добавками соединений натрия (NaCO_2 , NaCl и NaOH). Активность такой ванны при температурах 550-650°C весьма высока. Цианирование железохромистого покрытия в ней при температуре 570°C приводит к образованию тонкого поверхностного карбонитридного слоя. Этот слой имеет высокую твёрдость (15 000 МПа) и не склонен к хрупкому разрушению, твёрдость переходной зоны (под слоем карбонитридов) плавно уменьшается от поверхности к сердцевине, что является преимуществом данной технологии упрочнения, поскольку не вызывает резкого перепада напряжений по сечению слоя.

Глубину цианированного слоя выбирают равной толщине нанесённого покрытия. При толщине гальванического покрытия 0,3 мм длительность обработки в ванне составляет 4,5 ч (скорость роста карбонитридного слоя при температуре 570°C равна 0,07 мм).

Для получения более толстых карбонитридных слоёв на поверхности следует повышать температуру цианирования до 650°C. При такой температуре скорость роста карбонитридной корки возрастает почти в 2 раза, но твёрдость её при этом немного уменьшается, хотя остается вполне достаточной для обеспечения высокой износостойкости.

В результате низкотемпературного цианирования в поверхностном слое гальванического железохромистого покрытия (после охлаждения в воде) возникают сжимающие напряжения, величина которых доходит до 380-650 МПа, что благоприятно сказывается на усталостной прочности упрочняемых деталей.

Износостойкость цианированных слоёв в условиях граничного трения в 8-10 раз больше износостойкости закалённой стали.

При цианировании гальванических покрытий возрастает прочность сцепления их с основой, а при достаточно длительном процессе глубина насыщения превышает толщину покрытия и граница между покрытием и основой исчезает.

Благодаря низкотемпературной обработке можно упрочнять гальванические покрытия не только на основе железа, но и чисто хромовые – азотированием в тлеющем разряде. Полученные таким способом композиционные покрытия содержат на поверхности нитриды хрома и обладают высокой твердостью (до 26 000 МПа), а их износостойкость в 3 раза выше, чем износостойкость гальванического хрома. Кроме того, азотирование повышает коррозионную стойкость хромовых покрытий, поскольку трещины в слое хрома заполняются в процессе обработки нитридами хрома.

Легирование поверхностных слоёв стальных изделий при интегрированном упрочнении можно проводить с помощью лазера. Азотирование после предварительного лазерного легирования поверхности стали повышает твёрдость, созданную лазерным легированием, а также уменьшает перепад внутренних напряжений на границе зоны лазерного воздействия с матрицей. Применение такой схемы обработки наиболее эффективно, если при лазерном легировании вводят нитридообразующие элементы, так как при этом можно получить весьма высокую микротвёрдость поверхности на низколегированной стали (до 20 000 МПа), повысить до 3 раз износостойкость по сравнению с азотированной сталью, а также перераспределить внутренние напряжения в поверхностных слоях и тем самым устранить возможность возникновения трещин на границе легированного слоя матрицы.

Известно интегрированное упрочнение стальных деталей нанесением гальванических железных покрытий с последующим диффузионным борированием. Насыщение бором осуществляется в порошковой смеси, содержащей 65% карбида бора и 35% оксида алюминия, при температуре 980°C в течение 2-6 ч. В результате формируются борированные слои глубиной 0,1-0,25 мм с микротвердостью 14000-16000 МПа. Борирование повышает прочность сцепления с основой и износостойкость. Этот способ рекомендуется применять для восстановления и упрочнения деталей, работающих в абразивных средах.

Статико-импульсная обработка с последующей цементацией

На поверхности многих деталей (зубчатые колеса, подшипники качения, рельсы и рельсовые колеса, прокатные валки, толкатели кулачков, бойки, элементы червячных, гипоидных, винтовых, цепных и глобоидальных передач, направляющие, шлицевые соединения с телами качения, обгонные роликовые муфты и т.д.) действуют циклические контактные нагрузки, являющиеся причиной потери работоспособности деталей.

Для повышения контактной выносливости поверхностей деталей применяется интегрированная упрочняющая технология, включающая поверхностное пластическое деформирование (ППД), осуществляемое

путем статико-импульсной обработки (СИО), и последующие цементацию и закалку.

СИО, в отличие от других способов ППД, за счет воздействия на поверхность волной деформации позволяет в широких пределах изменять структуру упрочненного слоя и его свойства на глубине, превышающей глубину цементации. При этом имеется возможность создавать гетерогенно (неравномерно) упрочненную поверхность, эффективную при работе деталей в условиях контактно-усталостных нагрузок.

О перспективности такой интегрированной технологии свидетельствуют результаты ее применения для упрочнения плоских заготовок из сталей 18ХГТ и 20Х2Н4А. Деформационное упрочнение проводили на установке для статико-импульсной обработки, в качестве инструментов служили стержневые ролики из стали Р18. Газовую цементацию выполняли в камерной печи, в качестве насыщающей среды служил природный газ. Для окончательной механической обработки поверхностей, подвергнутых интегрированному упрочнению, использовали шлифование.

Результаты испытания показывают, что деформационное упрочнение перед цементацией позволяет повысить максимальную степень упрочнения поверхностного слоя до 1,5 раз по сравнению с одним только науглероживанием. При этом не только повышается контактная выносливость, но также сокращается необходимая длительность цементации.

Электроконтактная обработка газотермических покрытий

Для повышения износостойкости малоресурсных деталей на их рабочих поверхностях формируют износостойкие газотермические покрытия, для нанесения которых широко используют газопламенное (ГПН) и электродуговое (ЭДН) напыление.

Покрытия, полученные ГПН и ЭДН, имеют пористую поверхность, благодаря чему они легко прирабатываются, сохраняют смазку, удовлетворяют основным свойствам антифрикционности (самосмазываемость, самопритираемость). Для улучшения свойств таких покрытий их структуру подвергают модифицированию.

В этой связи является весьма перспективным применение интегрированных упрочняющих технологий, сочетающих нанесение газотермических покрытий деталей из низкоуглеродистых сталей методами ГПН или ЭДН и их последующее модифицирование путем электроконтактной обработки (ЭКО).

Модифицирование покрытий с помощью ЭКО имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами модифицирующей обработки. Так, лазерная и электронно-лучевая обработка приводят к неоднородной макроструктуре поверхности, химико-термическая

обработка характеризуется большой продолжительностью процесса и не позволяет проводить обработку крупногабаритных изделий.

Высокие эффекты упрочнения ЭДН- и ГПН-покрытий достигаются при использовании способов механотермической обработки, среди которых наибольшее распространение получила схема электроконтактного нагрева при прокатке покрытий роликом.

ЭКО покрытий не только обеспечивает упрочнение деталей, но также позволяет заменить высоколегированные дефицитные материалы для покрытий на менее затратные; снизить требования к механическим свойствам напыляемого материала; заменить финишную механическую обработку на поверхностное пластическое деформирование до требуемых размеров деталей и чистоты их поверхности; заменить традиционную наплавку с необходимостью последующей финишной обработки при обеспечении толщины покрытий более 3 мм с высокой адгезионной прочностью и низким уровнем остаточных напряжений.

Интегрированная технология нанесения газотермического покрытия и его последующей ЭКО схематично показана на рисунке 4.1. Достоинствами ЭКО являются высокая производительность; низкая энергоемкость; отсутствие светового излучения и газовыделения; отсутствие необходимости в защитных средах; минимальные тепловложения.

Зона термического влияния при воздействии электрического тока на деталь составляет 0,2-1,0 мм из-за малой длительности нагрева. Отсутствие жидкой фазы в зоне нанесения покрытия позволяет повысить долговечность электрода, снизить потери материала покрытия, увеличить толщину износостойкого слоя в 3-6 раз при минимальном уровне остаточных напряжений и прочности сцепления более 200 МПа. При этом пористость покрытий не превышает 5%. Повышение качества покрытий за счет ЭКО обеспечивается импульсным характером процесса обработки. ЭКО позволяет проводить финишную обработку ЭДН- и ГПН-покрытий до требуемого размера и чистоты поверхности без припусков или при значительном их уменьшении.

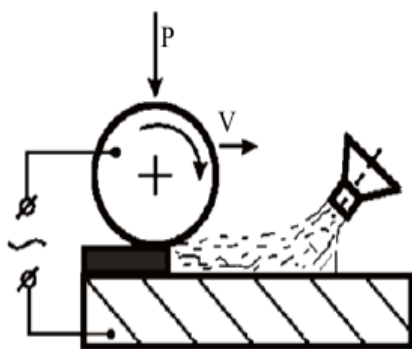


Рисунок 4.1 - Схема электроконтактной обработки наносимого покрытия

Данную интегрированную упрочняющую технологию наиболее эффективно применять для сталей мартенситного и ферритного классов, особенностью которых является способность к структурно-фазовым превращениям при термомеханическом воздействии.

Электромеханоультразвуковая обработка

Технология электромеханоультразвуковой обработки (ЭМУЗО) представляет собой сочетание термомеханического воздействия электромеханической обработки (ЭМО) и поверхностного пластического деформирования ультразвуковой обработки (УЗО), что позволяет формировать поверхностный слой стальных деталей с высокой прочностью и микротвердостью и малой шероховатостью.

Эффективность ЭМУЗО подтверждена результатами испытаний образцов в виде плоских цилиндрических дисков, изготовленных из стали 38ХС и 40Х, а также стали 45. Эти стали обладают высокой прочностью, но умеренной вязкостью и предназначены для изготовления деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, упругости и износостойкости. Для проведения ЭМУЗО применялась специальная установка, созданная на базе токарного станка. На установке обрабатывалась наружная цилиндрическая поверхность образцов, закрепленных в оправке.

ЭМО проводилась при термомеханическом воздействии на поверхность обрабатываемых образцов с усилиями прижатия рабочего инструмента к поверхности до 1500 Н и прохождением через зону контакта электрического тока большой величины (до 2000 А) и низкого напряжения (до 6 В). Термическая обработка осуществлялась на сверхвысоких скоростях нагрева и охлаждения до 10^5 °C/с. В качестве рабочего инструмента использовались закрепленные неподвижно пластины, а также вращающиеся ролики из твердого сплава Т15К6.

УЗО проводилась с использованием магнитострикционного преобразователя с частотой колебаний 22 кГц, излучатель прижимался к обрабатываемой поверхности с усилием до 1000 Н.

Результаты испытаний показывают, что ЭМО сопровождается высокоскоростной закалкой поверхностного слоя образцов на глубину до 0,2-0,3 мм с образованием ультрадисперсной мартенситной структуры, характеризующейся повышенной твердостью. Последующая УЗО улучшает механические свойства поверхностного слоя, в частности, увеличивает усталостную прочность, пределы текучести и прочности, износостойкость, твердость, коррозионную стойкость, а также снижает шероховатость.

В процессе ЭМУЗО поверхность образцов подвергается пластическому деформированию, в результате чего образуется модифицированный слой с повышенной концентрацией дислокаций и твердостью, а также невыраженной границей раздела с основным материалом, что позволяет замедлить формирование в поверхностном

слое опасных концентраторов напряжений и усталостных трещин, блокируя развитие усталостных процессов в поверхностном слое и тем самым повышая работоспособность деталей.

4.2 Упрочняющие нанотехнологии

Высокопрочные наноструктурные материалы

Перевод материалов в наноструктурное состояние приводит к существенному повышению их прочностных свойств. Основными видами наноструктурных материалов являются нанокристаллические и нанокпозиционные материалы. Из них изготавливают детали машин, работающие в условиях значительных механических нагрузок. Особый практический интерес представляют наногерметики, служащие для герметизации неподвижных соединений деталей.

Металлические нанокристаллические материалы.

Металлические материалы с нанокристаллической структурой обладают необычными механическими свойствами, которые существенным образом зависят от размера составляющих их зерен. С уменьшением размера зерен уменьшается плотность содержащихся в них дислокаций и вместе с тем увеличивается объемная доля границ раздела (границ зерен и тройных стыков), что приводит к изменению механических свойств материалов. Существует некоторый критический размер нанозерен R^* (приблизительно 10–20 нм), которым определяется степень устойчивости в них дислокаций: в нанозернах с размером $R < R^*$ вероятность существования дислокаций мала, наоборот, в нанозернах с размером $R > R^*$ может содержаться довольно большое число дислокаций. Если нанокристаллический материал состоит из нанозерен с размером $R < R^*$, то он обладает высокой прочностью, и, кроме того, сверхтвердостью. Например, предел текучести и микротвердость у нанокристаллической меди в 4 раза выше, чем у крупнозернистой меди. Если нанокристаллический материал состоит из нанозерен размером $R > R^*$, то он обладает сверхпластичностью, которая проявляется при сравнительно низких температурах и высоких скоростях деформации. Например, относительное удлинение до разрушения никеля с размером зерен 35 нм при температуре 420 °С и скорости деформации 10^{-2} с^{-1} составляет около 1000 %. Такой характер проявления механических свойств нанокристаллических материалов в зависимости от изменения размеров зерен принципиально отличает их от крупнозернистых материалов, для которых прочность и твердость однозначно повышаются с уменьшением размера зерен (согласно эмпирическому закону Холла-Петча).

Низкотемпературная сверхпластичность металлических наноматериалов открывает новые возможности для развития перспективных технологий сверхпластичной штамповки и формовки, а также комбинированных технологий, сочетающих сверхпластическую

формовку и сварку давлением, что позволяет существенно расширить ассортимент сложнопрофильных изделий.

Особенностью металлических нанокристаллических материалов является их большая износостойкость. Так, при уменьшении размера зерна в никеле от 10 мкм до 10 нм скорость износа снижается с 1330 до 7,9 мкм³/мкм.

Среди металлических материалов наиболее распространенными являются стали (доля сталей в общем объеме конструкционных материалов превышает 90%). Соответственно, применению сталей с нанокристаллической структурой уделяется особое внимание, прежде всего в силу присущих им повышенных прочностных свойств. Например, сталь 12Х18Н10Т с размером зерна 100 нм имеет предел текучести 1340 МПа, что в 6 раз больше предела текучести этой же стали с крупнозернистой структурой. Кроме того, в нанокристаллической стали этой марки резко возрастает внутреннее трение по сравнению с ее крупнозернистыми аналогами, что обеспечивает повышение ее демпфирующих свойств. Стали с нанокристаллической структурой, приобретая более высокую прочность, сохраняют высокие показатели пластичности и ударной вязкости, в том числе при отрицательных температурах.

К широко применяемым металлическим материалам относятся алюминиевые сплавы, достоинством которых являются легкость и коррозионная стойкость (на воздухе алюминий покрывается прочной пленкой Al₂O₃, которая препятствует его дальнейшему окислению). Из алюминиевых сплавов изготавливают корпусные детали машин и агрегатов, подшипники скольжения, емкости для жидкостей, трубопроводы, двери, оконные рамы и т.д. Алюминиевые нанокристаллические сплавы обладают высокой износостойкостью, которая значительно выше износостойкости аналогичных крупнозернистых сплавов. Кроме того, в алюминиевых сплавах с уменьшением размеров зерен до нанометровых могут проявляться сверхпластичные свойства, что расширяет технологические возможности изготовления из них изделий путем обработки давлением.

В пищевой промышленности в последние годы все более широко применяется титан благодаря высокой стойкости к действию пищевых сред. Из него изготавливают котлы для приготовления рассолов, томатных продуктов и соусов, оборудование для переработки овощей и т. д. Прочность свойства титана существенно возрастает (предел прочности составляет 1100 МПа) при формировании в нем нанокристаллической структуры. Кроме того, в нанокристаллическом титане и его сплавах наблюдается уменьшение адгезионной составляющей коэффициента трения, а также склонности к схватыванию (налипанию, сварке), типичной при наличии крупнозернистой структуры.

Эффективным способом упрочнения металлических деталей является формирование на их поверхности нанокристаллического слоя в результате интенсивной многократной пластической деформации, которая может осуществляться, в частности, в процессе трения.

Металлические нанокompозиты.

Металлические нанокompозиционные материалы делятся на матричные и слоистые. Наибольшее распространение имеют матричные нанокompозиты, типичными представителями которых являются твердые сплавы системы WC-Co. В них с переходом размеров зерен карбида вольфрама в нанометровую область увеличивается твердость зерен и уменьшается толщина межзеренной кобальтовой прослойки. Это приводит к уменьшению пластичности и затрудняет вырывание зерен при износе и, как следствие, способствует значительному улучшению механических свойств сплавов. Так, в твердом сплаве состава WC-6% Co при уменьшении среднего размера зерен карбида вольфрама с 1,5 до 0,5 мкм прочность, твердость и износостойкость возрастают в 1,5-2 раза.

Нанокompозиты на стальной матрице армируют преимущественно наночастицами оксидов металлов (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2), которые играют роль упрочняющих компонентов. Выбор в качестве таких компонентов оксидов, а не карбидов или нитридов, обусловлен тем, что кислород значительно меньше растворяется в матричном материале, чем углерод или азот.

Легирование порошкового железа нанопорошковой медью (3 мас. %) вызывает значительное улучшение механических свойств спеченных порошковых сталей: относительное удлинение возрастает в 5 раз, ударная вязкость – в 3, твердость в 1,25 раза по сравнению со сталями, легированными крупнодисперсным порошком меди.

Нанокompозиты на алюминиевой матрице, упрочненные наночастицами керамики (SiC , B_4C , BN) или синтетического алмаза, обладают более высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью, чем матричные алюминиевые сплавы. Особенно широко применяются нанокompозиты типа САП (спеченная алюминиевая пудра), в которых алюминиевая матрица армирована наночастицами Al_2O_3 .

Нанокompозиты на медной матрице с включениями наночастиц оксидов металлов (Al_2O_3 , BeO_2 , ThO_2) или синтетических алмазов приобретают повышенную прочность, сохраняя при этом высокую электропроводность медной матрицы, что делает их перспективными для изготовления электроконтакторов, работающих при высоких динамических нагрузках.

Подобно металломатричным нанокompозитам высокие механические свойства демонстрируют металлические слоистые нанокompозиты. Так, многослойный наноламинат Mo-W толщиной 50 мкм, состоящий из слоев молибдена и вольфрама толщиной 4 нм, по

прочности и твердости в 15 раз превышает сплав соответствующего состава.

Полимерные нанокомпозиты. При изготовлении деталей машин и агрегатов, наряду с металломатричными нанокомпозитами, все большее применение находят нанокомпозиты с полимерной матрицей, которая наполняется наночастицами глинистых минералов, металлов и их соединений, а также наноалмазами, фуллеренами или углеродными нанотрубками. Такие композиты обладают повышенной износостойкостью. Так, скорость изнашивания для нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена, наполненного нанопорошком $MgAl_2O_4$ (2–5 мас. %), составляет 0,6–3,4 мг/ч, в то время как для традиционных аналогов, содержащих в качестве наполнителя кокс и дисульфид молибдена – 12–16 и 40–45 мг/ч соответственно. При этом прочность и пластичность для всех материалов остаются практически одинаковыми.

Для герметизации различных соединений, а также в качестве уплотнителей используются нанокомпозиты на основе эпоксидной смолы, модифицированной углеродными нанотрубками. У таких композитов наблюдается значительное повышение предела прочности при растяжении (на 400 %) и при изгибе (на 120 %). Из таких композитов также можно изготавливать детали, обладающие низким коэффициентом трения. На основе эпоксидной смолы с добавками фуллеренов разработаны клеевые композиции, которые применяются в ремонтном производстве.

Керамические нанокристаллические материалы и нанокомпозиты. При изготовлении деталей машин и агрегатов особая роль отводится конструкционной керамике, которая формируется на основе карбида и нитрида кремния, оксидов циркония и алюминия, нитридов алюминия, титана, бора, циркония и некоторых других соединений и обладает повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью, температурной и коррозионной стойкостью. Из нее изготавливают режущие элементы, экструзионные головки, сопла, штуцеры, фильеры, уплотнители, крыльчатки и др. детали машин и агрегатов. В частности, она является перспективным материалом для изготовления режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающей техники. К основным недостаткам керамики относятся низкая трещиностойкость и пластичность. Этим недостаткам лишена нанокристаллическая керамика. Для нее характерна повышенная низкотемпературная пластичность, которую можно использовать в промышленных процессах экструзии и прокатки керамики. С уменьшением размеров зерен до нанометровых возникает возможность деформировать керамику при довольно высоких скоростях деформации (около 10^{-2} с^{-1}).

Наногерметики. Долговечность и эффективность работы машин в значительной мере зависит от герметичности неподвижных фланцевых соединений. Потери рабочих жидкостей в автомобилях из-за

недостаточной герметичности фланцевых соединений доходят до 30 %. Около 60 % тракторов имеют дефекты в уплотнениях двигателей, 44 % - коробок передач, 69 % - тормозных камер и 31 % - гидравлических систем. Улучшение герметичности уплотнений способствует снижению расхода топливно-смазочных материалов, увеличению ресурса деталей и уменьшению негативного влияния машин на экологическую обстановку.

До недавнего времени для герметизации неподвижных фланцевых соединений в основном использовали прокладки из резины, картона, фторопласта и т.п., которые не всегда обеспечивают требуемую герметичность из-за низкого качества соединяемых поверхностей, нарушения геометрии деталей в процессе их эксплуатации, невозможности создания необходимого контактного давления. Этих недостатков лишены герметики, поскольку они полностью заполняют неровности герметизируемых поверхностей фланцев, не требуют высоких контактных давлений, обладают высокой механической прочностью и эластичностью.

Наибольшее применение получили силиконовые и анаэробные герметики, которые имеют высокую герметизирующую способность в широком диапазоне давлений и температур. Для улучшения свойств герметиков в их состав вводят различные наполнители. Особенно перспективно использовать в качестве наполнителей наночастицы, которые позволяют получать герметики с нанокompозитной структурой.

Примером тому являются нанокompозитные анаэробные и силиконовые герметики, содержащие бемит (10 %), наночастицы серебра (2%) и углеродные наногрубки (1%), у которых герметизирующая способность значительно выше, чем у ненаполненных герметиков. Введение нанонаполнителей в полимерную матрицу герметиков приводит к снижению остаточной деформаций до 33 %, времени полимеризации до 25 %, ползучести до 20 %, повышению модуля упругости до 35 %, коэффициента восстанавливаемости до 26 % и теплостойкости до 25 %, стойкости к процессам набухания и растворения до 39 %, стойкости к вибрационным нагрузкам до 18 %, стойкости к старению до 15 %.

Наномодифицирование поверхности. Под технологиями поверхностного наномодифицирования компактированных материалов понимаются разнообразные технологии обработки поверхности материалов, приводящие к формированию наноструктурного приповерхностного слоя, а также наноразмерного рельефа поверхности.

В последние годы особенно быстрыми темпами развивается поверхностное наноструктурирование. Объемное наноструктурирование, т.е. создание наноструктурных компактов представляет собой довольно сложный технологический процесс, в сравнении с которым поверхностное наноструктурирование гораздо проще в реализации и требует меньших затрат. При этом по эксплуатационным свойствам изделия с наноструктурированными

поверхностями, как правило, мало отличаются от объемно наноструктурированных изделий. В результате формирования наноструктурных приповерхностных слоев конструкционных и инструментальных материалов достигается значительное повышение служебных свойств материалов: усталостной прочности, жаропрочности, жаростойкости, износостойкости.

Одним из эффективных направлений поверхностного наноструктурирования является обработка поверхности концентрированными потоками энергии (КПЭ), к числу которых относятся интенсивные импульсные лазерные, электронные и ионные пучки, а также потоки импульсной плазмы. При их воздействии происходит сверхбыстрый нагрев, плавление, испарение, сверхбыстрое затвердевание материала, возникают динамические поля температур и волны напряжений. В результате этих процессов в приповерхностных слоях создаются новые структурные состояния: нанокристаллические и аморфные структуры, сплавы из несмешиваемых элементов и др. Столь значительные изменения структуры приповерхностных слоев могут вызывать улучшение физико-химических и прочностных свойств материалов, которые не достигаются при традиционных методах поверхностной обработки.

К наиболее распространенным технологиям поверхностного наномодифицирования материалов относятся поверхностная нанозакалка, поверхностное нанолегирование, а также магнитно-абразивное напыление.

Поверхностная нанозакалка. Сущность поверхностной нанозакалки состоит в термической (электронно-лучевой, плазменной, лазерной, электроискровой, индукционной) обработке металлов в условиях оплавления и последующего сверхбыстрого охлаждения поверхности, в результате чего в приповерхностном слое формируется нанокристаллическая структура с повышенной твердостью и прочностью, а также сглаживается рельеф поверхности.

В процессе термической обработки металла происходит сверхбыстрый нагрев (10^8 - 10^9 К/с) поверхности до температуры плавления. Затем происходит сверхбыстрое (10^6 - 10^8 К/с) охлаждение за счет отвода тепла в более глубокие холодные слои металла. В результате осуществляемой таким образом сверхбыстрой закалки из расплава в приповерхностном слое (толщиной от нескольких единиц до нескольких десятков микрон) формируется закалочная нанокристаллическая структура и, как следствие, повышается твердость поверхности. Кроме того, в оплавленном слое поверхности за счет сил поверхностного натяжения происходит выглаживание рельефа поверхности.

Возможны два разных механизма реализации процесса поверхностной нанозакалки: 1) непосредственное формирование нанокристаллической структуры при высоких скоростях охлаждения расплава и 2) формирование аморфной структуры при превышении

некоторого критического значения скорости охлаждения расплава и последующая контролируемая термическая обработка, приводящая к переходу из аморфной фазы в нанокристаллическую.

Для поверхностной наноакалки металлов перспективно проводить обработку поверхности низкоэнергетическими импульсными электронными пучками. Действие сильноточного импульсного электронного пучка приводит к сверхбыстрому нагреву, расплавлению и последующей сверхбыстрой кристаллизации тонкого поверхностного слоя металлической детали. При этом сама деталь остается практически холодным. Модифицированный таким способом приповерхностный слой толщиной от нескольких единиц до нескольких десятков микрон приобретает нанокристаллическую структуру. Кроме того, достигается существенно меньшая шероховатость поверхности, что позволяет использовать электронно-пучковую обработку вместо механической полировки деталей. Также приповерхностный нанокристаллический слой защищает поверхность от коррозии. Обработка режущего инструмента на импульсной электронно-лучевой установке позволяет получить материал с высокими прочностными свойствами, высокой стойкостью к ударным нагрузкам и термоциклированию. Данная технология позволяет модифицировать поверхность инструмента даже из такого тугоплавкого материала, как карбид вольфрама, при этом срок службы инструмента повышается вдвое.

Также перспективно осуществлять поверхностной наноакалки, обрабатывая поверхность деталей низкотемпературной плазмой комбинированного разряда. Обработка проводится в установке, основными элементами которой являются камера обработки, генератор СВЧ-энергии, блок питания генератора, блок подачи потенциала на поверхность детали, система газонапуска (технологический газ – азот), вакуумная система.

Под действием низкотемпературной плазмы поверхность деталей приобретает новые свойства: шероховатость поверхности снижается в 1,7-6,7 раза (на поверхности образуется пленка, которая заполняет микронеровности поверхности); микротвердость (по Виккерсу) поверхности повышается, что обеспечивает увеличение износостойкости в 3-4 раза. Микрорельеф поверхности претерпевает изменения, вызванные оплавлением микронеровностей, а также измельчением структуры приповерхностных слоев с образованием мелкодисперсной фазы с размерами зерна 20-50 нм на глубине до 20 мкм и формированием слоистой структуры толщиной 100-150 нм и шагом 300-400 нм на глубину до 4 мкм. Мелкодисперсная фаза состоит из распределенных у поверхности карбидов. Микроструктура мелкодисперсного слоя представляется собой мелко-игольчатый мартенсит. Глубина модифицированного слоя доходит до 300 мкм.

Наномодифицирование поверхности деталей происходит в результате действия скомпенсированного потока заряженных частиц

(ионов и электронов), сформированного в низкотемпературной плазме комбинированного разряда. Модификация приповерхностных слоев начинается в тот момент, когда активные частицы плазмы, ускоряясь, приобретают энергию, достаточную для того, чтобы преодолеть потенциальный барьер кристаллической решетки. Высокоэнергетические ионы внедряются в кристаллическую решетку и передают ей свою энергию. Внедрению ионов способствуют потоки электронов плазмы, вызывающие усиление электропереноса.

Воздействие плазмы на поверхность вызывает ее оплавление и сглаживание ее микронеровностей. В результате воздействия плазмы происходит сильный нагрев поверхности. Последующее охлаждение в вакууме приводит к резкому охлаждению поверхности, что вызывает измельчение структуры приповерхностных слоев с образованием мелкодисперсной фазы.

Поверхностное нанолегирование. В последние годы получил развитие способы поверхностного упрочнения металлов, согласно которым в них формируют тонкие легированные приповерхностные слои путем обработки поверхности с использованием КПЭ. Одним из таких способов является электровзрывное легирование (ЭВЛ).

В результате электровзрыва образца токопроводящего материала образуется сверхзвуковая импульсная плазменная струя, взаимодействие которой с поверхностью обрабатываемого металла приводит к оплавлению приповерхностного слоя и его насыщению продуктами взрыва с последующим сверхбыстрым охлаждением. При этом вблизи поверхности формируется ударно-сжатый слой с высокими значениями температуры и давления, а в зоне оплавления, насыщаемой компонентами плазмы, интенсивно развиваются процессы конвективного перемешивания, вызывающие перераспределение легирующих элементов по всей глубине расплава.

Химический состав плазменного потока задается материалом взрываемого образца. Так, может быть электровзрывное меднение, железнение, алитирование, никелирование, науглероживание, борирование, бороалитирование, боротитанирование, карбоборирование и т.д. Кроме того, в плазменную струю можно вводить порошковые частицы различных веществ (карбидов, оксидов, нитридов, боридов и др.), которые при формировании струи увлекаются ею и переносятся на обрабатываемую поверхность, увеличивая тем самым возможности изменения структуры и фазового состава зоны легирования.

Особый интерес представляет электровзрывная обработка при высокоинтенсивных режимах воздействия на поверхность, когда глубина зоны легирования и степень ее насыщения легирующими компонентами достигают наибольших значений.

При электровзрывном легировании образуется наноструктурная зона легирования, состоящая из четырех характерных слоев (рисунки 4.2...4.5):

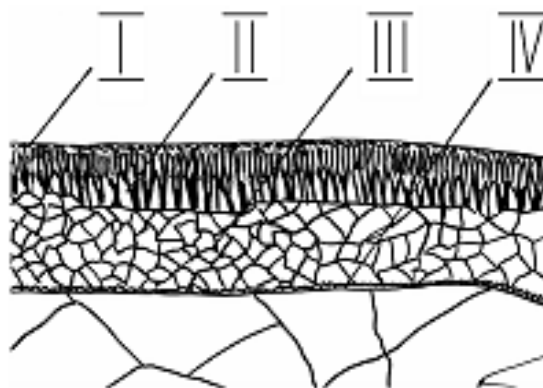


Рисунок 4.2 - Схема строения зоны электровзрывного легирования по глубине

I – приповерхностный слой, II – промежуточный, III – приграничный,
IV – нанокристаллический подслоя

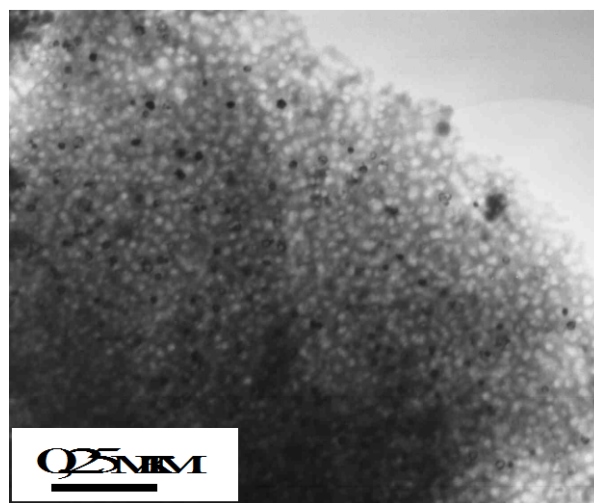


Рисунок 4.3 - Структура приповерхностного нанокристаллического слоя зоны электровзрывного меднения никеля

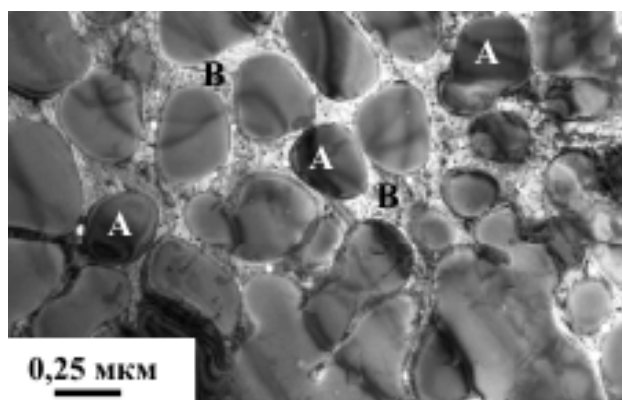


Рисунок 4.4 - Структура слоя ячеек кристаллизации, формирующихся в никеле при электровзрывном боромеднении
А – кристаллиты Ni (Cu, B); В – боридные прослойки



Рисунок 4.5 - Структура приграничного слоя в никеле при электровзрывном науглероживании (кристаллиты Ni_3C)

- 1-й тонкий (1 мкм) приповерхностный нанокпозиционный слой (рисунок 4.2), содержащий частицы синтезируемых фаз с размерами кристаллитов 1-10 нм;

- 2-й промежуточный слой с ячеистой структурой (рисунок 4.3), состоящей из ряда параллельных элементов, имеющих форму стержней и расположенных в направлении кристаллизации); диаметр ячеек в нем с глубиной увеличивается, а разделяющих их прослоек уменьшается, размер кристаллитов в прослойках ~ 10 нм.

- 3-й приграничный слой с зеренной структурой (рисунок 4.4), внутри зерен которого с размером 10-100 нм имеются частицы упрочняющих фаз с размером ~ 1 нм.

- 4-й тонкий (1-2 мкм) нанокристаллический подслой с низкой степенью легирования на границе с основой; размеры кристаллитов материала основы в нем составляют 30-40 нм, а частиц упрочняющих фаз – 3-5 нм.

Электровзрывное легирование приводит к значительному повышению эксплуатационных свойств металлов: твердости, жаро- и износостойкости, устойчивости к фреттинг-коррозии. Так, обработка поверхности с плавлением и насыщением поверхностных слоев инструментальной стали X12 компонентами многофазной струи, сформированной электровзрывом алюминиевой фольги с порошковой навеской ультрадисперсного порошка карбида кремния, позволяет получить зону легирования толщиной 20 мкм. При этом микротвердость поверхности повышается в 3 раза, абразивная износостойкость – в 8 раз, жаростойкость в атмосфере воздуха (при температуре 800°C) – в 9 раз.

Практический интерес представляет процесс формирования поверхностного слоя стали 40X, которую подвергали, во-первых, облучению высокоинтенсивным импульсным электронным пучком и, во-вторых, легированию путем плавления системы медная пленка – стальная подложка при облучении высокоинтенсивным импульсным

электронным пучком. Обработке подвергали сталь 40Х, которая была в отожженном состоянии, т.е. имела поликристаллическую структуру, представленную зернами феррита и перлита.

Процесс обработки заключался в следующем: на поверхность стали наносили тонкую (1,5-2,0 мкм) пленку меди вакуумно-дуговым методом, затем сформированную систему пленка - подложка обрабатывали высокоинтенсивным импульсным электронным пучком. Высокоскоростная кристаллизация и последующая закалка стали приводили к формированию модифицированного слоя толщиной до 30 мкм. В поверхностном слое возникала ячеистая структура, средние размеры ячеек увеличивались от 240 до 500 нм при росте плотности энергии пучка электронов от 10 до 20 Дж/см². Облучение высокоинтенсивным импульсным электронным пучком системы пленка – подложка сопровождалось образованием поверхностного сплава с закалочной структурой, упрочненной наноразмерными выделениями частиц меди.

Также представляют практический интерес результаты поверхностного легирования сплава ВТ6 (Т1-6Л1-4У) цирконием. Эксперименты проводили на многослойной пленке (24 нанослоя) общей толщиной 480 нм, нанесенной на подложку из сплава ВТ6 магнетронным способом. Образцы подвергали облучению электронным пучком. Облучение приводило к плавлению всех нано-слоев пленки. Общая толщина расплавленного слоя составляла около 1 мкм. В результате импульсного плавления происходило равномерное по глубине перемешивание всех нанослоев и проникновение циркония в подложку на глубину около 0,5 мкм.

Магнитно-абразивное нанополирование. Эффективным способом формирования нанорельефа поверхности и приповерхностного слоя с оптимальными функциональными свойствами является магнитно-абразивное полирование (МАП).

Сущность МАП заключается в том, что ферроабразивный порошок под действием магнитного поля приобретает вид «эластичной щетки», полирующей поверхность детали. При этом импульсное магнитное поле оказывает решающее влияние на формируемый нанорельеф и дефектную структуру приповерхностного слоя.

Схема установки для МАП наружных поверхностей тел вращения показана на рисунке 4.6. Обрабатываемая деталь 1 помещается с рабочим зазором δ между полюсными наконечниками 3, на которые установлены электромагнитные катушки 4. Зазор заполняется порошком 2, который под действием энергии магнитного поля удерживается в зазоре и прижимается к поверхности детали. Последней сообщается вращательное и возвратно-поступательное движение, она перемещается относительно порошка, и таким образом происходит магнитно-абразивная обработка ее поверхности.

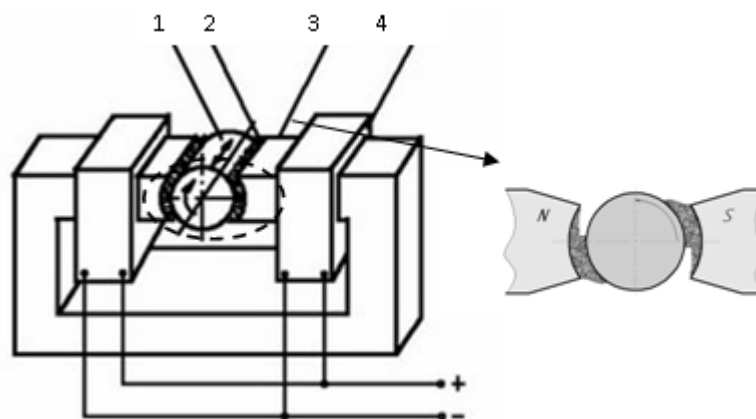


Рисунок 4.6 - Установка для магнитно-абразивного полирования наружных поверхностей тел вращения

В процессе МАП наноразмерный приповерхностный слой обрабатываемой детали наряду с упругопластической деформацией подвергается активному действию магнитного поля на атомно-вакансионные связи и структуру за счет механизмов магнитострикции, магнито- и электропластического эффектов. Все эти факторы в совокупности выводят на поверхность слабо закрепленные дефекты (дислокации, дисклинации и др.), в результате чего формируются приповерхностный слой с минимумом дефектов структуры и нанорельеф поверхности с высотой неровностей менее 3 нм.

Экспериментально установлено, что процесс МАП в 1,5-3 раза повышает износостойкость, контактную и усталостную прочность деталей по сравнению с операцией шлифования. Это процесс также может применяться для повышения коррозионной стойкости поверхностей изделий из алюминиевых и циркониевых сплавов, сталей и других материалов.

Нанопокрyтия

Для получения конструкционных и инструментальных металлов и сплавов, поверхности которых обладают высокими прочностными, антифрикционными и антикоррозионными свойствами, эффективно использовать специально создаваемые упрочняющие и защитные нанопокрyтия.

Наибольшее распространение получили нанопокрyтия из неорганических материалов – металлов и сплавов, химических соединений (карбидов, нитридов, оксидов и т.п.), а также углерода. Как правило, нанопокрyтия характеризуются многокомпонентным составом с большим набором легирующих элементов и особой структурой, благодаря чему они придают материалу деталей новые свойства. Такие покрyтия наиболее востребованы при изготовлении деталей машин, работающих в экстремальных условиях (высокая температура,

агрессивные среды), при форсированных режимах, а также металлообрабатывающего инструмента.

Различают следующие виды нанопокровтий: наноструктурные, включая нанокристаллические и нанокompозитные, и нанослойные.

Нанокристаллические (нанозернистые) покрытия имеют кристаллическую структуру, состоящую из наноразмерных кристаллитов (зерен). Свойства нанокристаллических материалов в значительной мере зависят от размеров зерен. В частности, поведение нанокристаллических материалов с размерами зерен 10 нм и менее определяется в основном процессами, происходящими в пограничных областях, поскольку количество атомов в зернах сравнимо или меньше, чем в межзеренных границах. Это обстоятельство существенно изменяет характер взаимодействия соседних зерен, в частности, тормозит генерацию дислокаций, концентрация которых в зернах становится практически равной нулю.

Нанокompозитные покрытия состоят из матричной кристаллической фазы, в объеме которой распределены наночастицы упрочняющей фазы. Нанокompозитные материалы, благодаря наличию армирующих наночастиц, обладают повышенной износостойкостью и прочностью, в том числе и в условиях действия циклических термомеханических напряжений.

Нанослойные покрытия характеризуются наноразмерной толщиной. Они бывают как одно-, так и многослойными и могут иметь разную по характеру структуру, в том числе нанокристаллическую и нанокompозитную.

Для нанесения нанопокровтий применяют различные технологии. Соответственно, существуют и различные типы нанопокровтий: напыленные, наплавленные, гальванические, фрикционно-наносимые и др. Отдельную группу образуют лакокрасочные нанопокровтия.

Напыленные покрытия. К технологиям напыления нанопокровтий относятся газотермическое, холодное газодинамическое и магнетронное напыление.

Газотермическое напыление является наиболее распространенным способом поверхностного упрочнения деталей, представляющим собой процесс нагрева, диспергирования и переноса частиц напыляемого материала газовым или плазменным потоком на поверхность детали. Структура материала покрытия формируется при ударе, деформации и затвердевании нагретых частиц на поверхности детали или ранее нанесенных остывших частиц. При этом образуется слоистое покрытие, стоящее из деформированных частиц, соединенных между собой контактными участками. Этот способ позволяет создавать наноструктурные покрытия путем использования напыляемого материала в виде нанодисперсных частиц (нанопорошков). При этом достигаются существенно более высокие свойства покрытий, чем при напылении традиционных порошков с размерами частиц 10-200 мкм.

Для получения нанопокровтий применяют различные разновидности газотермических технологий (газопламенное, плазменное, детонационное напыление).

Газопламенное напыление. Сущность процесса газопламенного напыления заключается в нагреве напыляемого материала (порошка) газовым пламенем и его переносе на обрабатываемую поверхность струей сжатого газа.

При обычном газопламенном напылении скорость газопламенной струи сравнительно невысока (150-200 м/с). Поэтому частицы напыляемого материала, переносимые этой струей, длительное время находятся в зоне высоких температур и, как следствие, подвергаются сильному нагреву (температура пламени составляет около 3000°С). Это ограничивает возможности применения данного способа для напыления нанокристаллических покрытий, так как используемые в этом случае наночастицы напыляемого материала расплавляются или сплавляются, так что покрытия теряют нанокристаллическую структуру.

Решить данную проблему позволяет высокоскоростное газопламенное напыление, которое по сравнению с обычным газопламенным напылением обеспечивает гораздо более высокую скорость газового потока (до 2000 м/с) за счет повышения давления в камере сгорания (до 1,5 МПа), а также создания специальной конструкции выходной части камеры сгорания – в форме расширяющегося сопла Лавалья, обеспечивающего ускоренное истечение газового потока. Схема установки для высокоскоростного газопламенного напыления показана на рисунке 4.7. Благодаря высокой скорости воздействия частиц на поверхность детали, получаемые покрытия характеризуются высокой плотностью (до 99%) и высоким показателем адгезии.

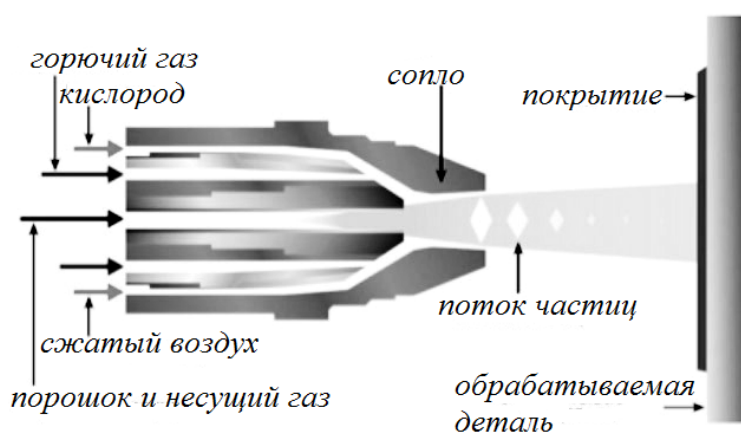


Рисунок 4.7 - Установка для высокоскоростного газопламенного напыления

В основе технологии высокоскоростного газопламенного напыления лежит принцип придания максимально возможной

кинетической энергии мелкодисперсным частицам напыляемого материала, введенным в газовую струю. Это приводит к кратковременному пребыванию наночастиц в зоне высоких температур, благодаря чему они не доводятся до расплавления или сплавления, как это происходит при обычном газопламенном напылении. Как следствие, изменения гранулометрического и фазового состава исходного материала в процессе напыления становятся минимальными, благодаря чему создаются благоприятные условия для формирования нанокристаллических покрытий.

Для получения нанокристаллических покрытий в качестве наносимого материала используются нанопорошки сплавов на основе Fe, Ni, Cu и других металлов, которые вводятся в газовый поток, нагреваются и с высокой скоростью направляются на обрабатываемую деталь. Также используют композиционные нанопорошки, например, WC-Co (в этом случае получаются, соответственно, наноконпозиционные покрытия).

В некоторых вариантах высокоскоростного газопламенного напыления наносимый материал подается в камеру сгорания вместе с топливом в виде суспензий, содержащих наночастицы, или в виде растворов, являющихся прекурсорами наночастиц. Суспензии подвергаются распылительной сушке, в результате которой образуются агломерированные наноструктуры, формирующие нанопокрyтие. В свою очередь, растворы подвергаются диспергированию с помощью вихревого инжектора, в результате чего образуются капли раствора с размерами около 3 нм, которые в ходе физико-химических процессов, активированных тепловым воздействием, преобразуются в аналогичные агломерированные наноструктуры.

Плазменное напыление. Сущность процесса плазменного напыления заключается в том, что в плазменную струю, образуемую в электродуге плазмотроне при подаче в нее инертного газа, вводится напыляемый материал (порошок), который нагревается, плавится и направляется на обрабатываемую поверхность.

Скорость истечения плазменной струи из сопла плазмотрона составляет 350-400 м/с, а ее температура доходит до 5500°C. Напыляемый материал в виде порошка с размерами частиц 40-100 мкм вводится в струю плазмы с помощью транспортирующего газа (аргона или воздуха). Скорость частиц напыляемого материала в плазменной струе при подлете к обрабатываемой поверхности достигает 80-100 м/с.

При обычном плазменном напылении из-за высокой тепловой мощности плазменной струи ограничиваются возможности использования напыляемых материалов в виде нанопорошков, поскольку наночастицы, находясь в струе, расплавляются или сплавляются (по аналогии с обычным газопламенным напылением). Для предотвращения этого нежелательного явления применяют микроплазменное напыление, которое характеризуется сравнительно

малой мощностью используемых плазмотронов и длиной плазменной струи. При этом за счет снижения нагрева и времени пребывания в плазменной струе наночастицы не доводятся до расплавления и сплавления, в результате чего формируются нанокристаллические покрытия. Схема установки для микроплазменного напыления показана на рисунке 4.8.

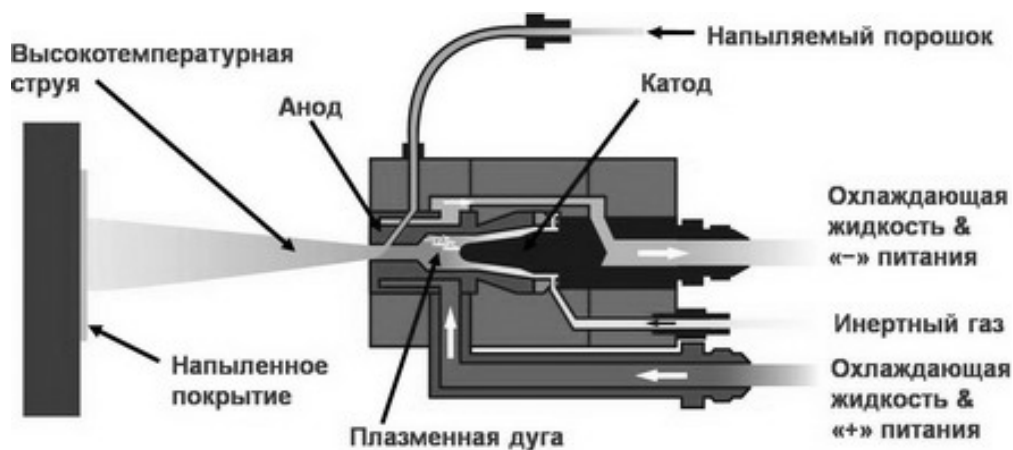


Рисунок 4.8 - Установка для микроплазменного напыления

Плазменным напылением получают наноструктурные покрытия в основном из керамических и металлокерамических материалов.

Плазменным напылением получали наноструктурные покрытия из Al_2O_3 . Их формировали из нанопорошков с разными размерами частиц: 200 нм, 100 нм и 60 нм. С уменьшением размера частиц напыляемых нанопорошков уменьшалась шероховатость покрытия. Структура полученных покрытий наследовала размер частиц напыляемых порошков.

Плазменным напылением и лазерным оплавлением получали металлокерамические покрытия с ультрадисперсной упрочняющей фазой Al_2O_3 для тяжело нагруженных узлов трения. По показателям износостойкости, задиростойкости и антифрикционности такие покрытия были значительно эффективнее твердого электролитического хромирования, а по экономическим показателям в условиях серийного производства и по экологии процесса существенно лучше. Нанесение таких покрытий на внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса роторно-пластинчатого насоса для перекачки травящего раствора в производстве печатных плат позволяет повысить ресурс работы насосов более чем в 20 раз.

Особый интерес представляет процесс формирования плазменных наноструктурных покрытий через промежуточную аморфную фазу. Пример тому – напыление нанопорошковой смеси оксидов Al_2O_3 - Y_2O_3 , в результате которого получается покрытие с аморфной структурой. Образование аморфной структуры является следствием высокой

скорости охлаждения частиц при их затвердевании на подложке, которая достигает 108 К/с. После отжига при температурах 1273, 1473 и 1673 К покрытие с аморфной структурой переходит в кристаллическое состояние, после отжига при 1473 К в покрытии формируется наноструктура.

Детонационное напыление. При детонационном напылении напыляемый материал (порошок) нагревается, плавится и переносится на обрабатываемую поверхность за счет энергии газового взрыва. Схема установки для детонационного напыления показана на рисунке 4.9.

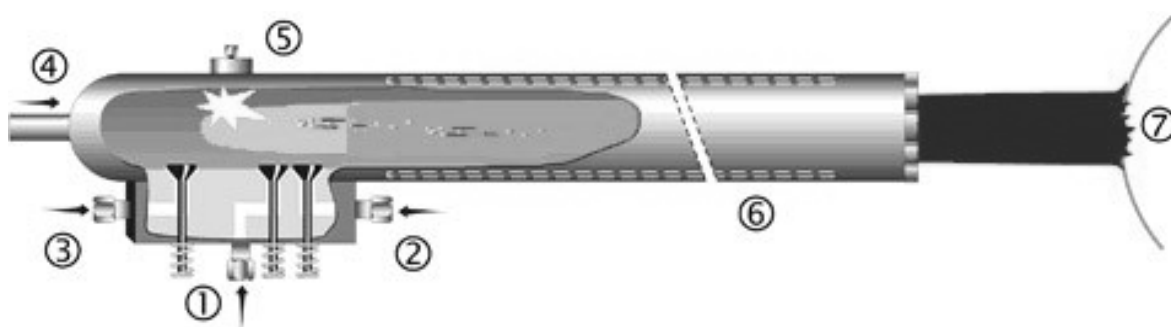


Рисунок 4.9 - Установка для детонационного напыления
1 – ацетилен, 2 – кислород, 3 – азот, 4 – напыляемый порошок, 5 – взрывной механизм

Сравнительные исследования трибологических характеристик детонационных покрытий из нанокристаллических (размер зерна карбида вольфрама 17 нм) и крупнозернистых порошков твердых сплавов WC-Co показывают, что наноструктурированное покрытие имеет предельную нагрузку, при которой наблюдается катастрофическое разрушение поверхности, на 20 % выше, чем крупнозернистое покрытие. Коэффициент трения для нанокристаллического покрытия на 40–50 % меньше, чем для крупнозернистого покрытия.

Детонационное напыление наноструктурных покрытий использовали для повышения ресурса подшипников скольжения погружных центробежных насосов. Керамический порошок для напыления представлял собой гранулы размером 20-60 мкм, содержащие зерна размером 17 нм. В процессе напыления формировались наноструктурные покрытия с содержанием монокарбида (62%). Испытания таких покрытий показали, что они обладают пониженным коэффициентом трения и более высокой нагрузкой заедания по сравнению с обычным покрытием из керамического порошка.

Холодное газодинамическое напыление. Технология холодного газодинамического напыления основана на эффекте образования прочного слоя металлического покрытия при соударении холодных (с температурой, значительно меньшей температуры плавления) металлических частиц, ускоренных сверхзвуковым воздушным потоком,

с обрабатываемой поверхностью. Схема установки для холодного газодинамического напыления показана на рисунке 4.10.

При ударах нерасплавленных металлических частиц о поверхность детали они подвергаются пластической деформации. При этом кинетическая энергия частиц преобразуется в тепло и, частично, в энергию связи с поверхностью, обеспечивая формирование сплошного слоя из плотно упакованных металлических частиц, что обеспечивает получение покрытия с низкими температурными напряжениями без сквозных пор и микротрещин с высокими прочностными и антикоррозионными свойствами.

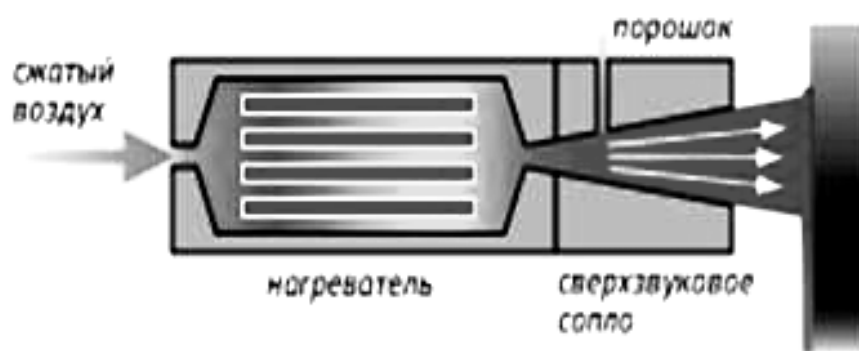


Рисунок 4.10 - Установка для холодного газодинамического напыления

Используя технологию холодного газодинамического напыления, можно получать покрытия из большинства металлов и сплавов (алюминий, медь, никель, кобальт, ванадий, железо, цинк и др.), а также из смесей металлических порошков с различными порошками твердых керамических материалов (нитридов, карбидов и др.) на поверхности деталей из металлов и неметаллов. Эта технология также позволяет формировать наноструктурные покрытия. Так, на примере системы Ti/TiCN показано, что холодное газодинамическое напыление обеспечивает сохранение наноструктуры исходного порошка, снижая при этом пористость в покрытии с 9% до 1,5% и повышая его твердость с 4 ГПа до 12 ГПа по сравнению с напылением традиционного титанового порошка.

Преимущества холодного газодинамического напыления позволяют применять его не только для нанесения покрытий, но и для восстановления изношенных деталей машин.

Магнетронное напыление Сущность технологии магнетронного напыления заключается в нанесении тонкопленочных покрытий ионным распылением мишени в плазме магнетронного разряда.

Магнетронное напыление можно применять как для металлических, так и для неметаллических мишеней (и, следовательно, для получения соответствующих пленок). При магнетронном напылении температуры

обрабатываемых поверхностей невелики (не более 100-200°C), что обеспечивает возможности получения наноструктурных покрытий.

Покрытия системы Ti-Al-Si-Cu-N получали методом магнетронного напыления в среде аргона и азота мишеней титана (BT 1-0), меди и сплава Al-Si при температуре осаждения около 150°C. Состав и условия осаждения покрытий определяли невысокое (менее 5 ат.%) содержание легирующих элементов и структурное состояние, соответствующее фрагментированным на наноразмерные домены субмикроструктурным зернам.

Легированные алмазоподобные покрытия получали методом реактивного магнетронного напыления в среде, представлявшей смесь аргона и химически активных газов, один из которых был углеводородом. Для легирования покрытий использовали хром и активную смесь ацетилен-азот. Нанесенные покрытия имели нанокompозитную структуру, которая создавалась наноразмерными включениями металлического хрома и его различных карбидных и нитридных фаз в углеводородной матрице. Как следствие, покрытия обладали высокими механическими и трибологическими свойствами.

Методом магнетронного напыления получали нанокompозитные покрытия на основе аморфного углерода с наночастицами карбида титана. Толщина покрытий, равномерно распределенных по поверхности образцов из титана, составляла 2,8–2,9 мкм. Структура покрытий представляла собой сложный композит, состоящий из наночастиц размерами 3-5 нм, соответствующих фазам TiC, TiCN, TiN, а также наночастиц Ni размерами до 100 нм в аморфной углеродной матрице (объемное содержание аморфной фазы около 75%). Твердость исходных титановых образцов составляла 2 ГПа, твердость покрытий – 7-11,6 ГПа. Покрытия характеризовались высокой прочностью и износостойкостью и низким коэффициентом трения.

Магнетронным напылением можно получать нанокристаллические тонкопленочные покрытия из диоксида титана TiO₂, обладающие уникальными электрофизическими, оптическими, химическими и бактерицидными свойствами.

Наплавленные покрытия. Обычно в покрытиях, получаемых наплавкой, образуется крупнозернистая структура металла: размер зерен матрицы и частиц упрочняющей фазы составляет от 40 до 110 мкм и более. Как следствие, детали с наплавленными покрытиями имеют низкую усталостную прочность и износостойкость. Для существенного механических свойств эти покрытия должны наноструктурными. Такие покрытия можно создавать разными способами, в частности:

- аргонодуговой наплавкой неплавящимся электродом на постоянном токе в среде присадочного материала, содержащего железо, хром, никель, вольфрам, ванадий, углерод и другие элементы (при этом структура наплавленного слоя будет состоять преимущественно из

наночастиц размерами 80-100 нм и упрочняющей фазы размерами 2-10 мкм);

- скоростной пластической деформацией наплавленных слоев, при которой происходит дробление зерен до наноразмерного уровня.

Для получения наноструктурных покрытий перспективно использовать электроискровую наплавку, причем наилучший упрочняющий эффект достигается при формировании многослойных электроискровых покрытий (рисунок 4.11). Наноструктурные покрытия, полученные электроискровой наплавкой, применяются при ремонте гидрораспределителей, турбокомпрессоров, гидростатических трансмиссий, рулевых механизмов тракторов и т.д.



Рисунок 4.11 - Процесс электроискровой наплавки

Примером эффективного применения наплавленных наноструктурных покрытий является упрочнение рабочих органов почвообрабатывающей техники. Так, после наплавления комбинированных микро- и наноструктурных покрытий на стрелчатые лапы сеялок их ресурс увеличился в 3-4 раза. Полученные покрытия имели нанокompозитную структуру, содержащую карбиды и бориды тугоплавких металлов.

Гальванические покрытия. В основе технологии нанесения гальванических (электрохимических) покрытий лежит процесс электролиза, т.е. процесс протекания химических реакций под действием постоянного электрического тока на электродах в водных растворах солей металлов (электролитах). Гальванические покрытия наносят на поверхности металлических деталей для придания им твердости, износостойкости, антикоррозионных, антифрикционных свойств. Схема осаждения гальванического покрытия показана на рисунке 4.12.

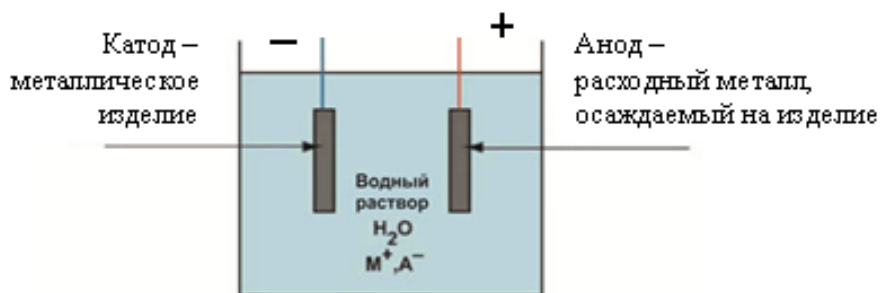


Рисунок 4.12 - Схема осаждения гальванического покрытия

Более эффективно использовать гальванические композитные покрытия. Их получают из электролитов с добавкой высокодисперсного порошка. При этом на поверхности детали осаждается металл (никель, железо, кобальт, хром, медь и др.) и частицы порошка (бориды, карбиды, нитриды, силициды, а также абразивные порошки на основе оксидов железа FeO , кремния SiO_2 , алюминия Al_2O_3 , магния MgO , кальция CaO), которые скрепляются осаждаемым матричным металлом. Гальванические композитные покрытия обладают гораздо более высокими прочностными свойствами по сравнению с обычными гальваническими покрытиями.

Подобным способом получают гальванические нанокompозитные покрытия, для чего в электролиты добавляют нанодисперсные порошки (обычно в них вводят наночастицы керамики: Al_2O_3 , C_6B_2 , SiC и др.).

Например, для осаждения нанокompозитных гальванических покрытий на основе хрома использовали нанодисперсные порошки оксида алюминия Al_2O_3 с размерами частиц 10-30 нм. Полученные нанокompозитные по сравнению с обычными хромовыми покрытиями обладали микротвердостью выше в 1,4 раза, износостойкостью – в 2,2 раза и коррозионной стойкостью – в 1,8 раза. Этот способ нанесения покрытий был применен для восстановления и упрочнения плунжерных пар топливного насоса высокого давления. Проведенные испытания показали, что ресурс плунжерных пар с нанокompозитным хромовым покрытием в 1,8 раза выше, чем у плунжерных пар с обычным хромовым покрытием.

Широкое применение находят гальванические металломатричные покрытия, содержащие наноалмазы. Включение наноалмазов в структуру Cr-покрытий приводит к повышению их износостойкости и микротвердости, благодаря чему такие покрытия позволяют повысить эффективность режущего инструмента. Наличие наноалмазов в структуре Ag-покрытий обеспечивает повышение износостойкости при сохранении высоких электрофизических свойств, что важно при их использовании для изготовления скользящих контактов электротехнических устройств. В Ni-покрытиях, модифицированных наноалмазами, износостойкость увеличивается в 2-4 раза при

одновременном увеличении коррозионной стойкости на 50-120 %. Аналогичный эффект обеспечивается металлополимерными покрытиями с добавками наноалмазов, которые способны надежно защищать детали от совместного воздействия износа и коррозии.

Фрикционно-переносимые покрытия. В промышленности широко применяется фрикционное (с помощью трения) нанесение медьсодержащих покрытий. Такие покрытия толщиной от 50 до 500 нм наносятся в присутствии специальной технологической среды на трущиеся поверхности деталей – коренные и шатунные шейки коленчатого вала, гильзы цилиндров, реборды и поверхности качения вагонных колесных пар, различного вида штоки, пальцы, резьбовые соединения и т.д. Они обеспечивают снижение интенсивности изнашивания и повышение задиростойкости трущихся поверхностей, интенсифицируют процессы образования защитных пленок в период приработки после изготовления или ремонта изделий.

Особый характер структурных изменений поверхностных слоев при трении наблюдается в условиях интенсивной пластической деформации при наличии в масле нанопорошка сплава меди. Поверхностные слои в результате деформирования приобретают нанокристаллическую структуру, в которой значительно возрастает зернограничная диффузия меди, выделяющейся на поверхности в процессе трения. Как следствие, структура поверхностных слоев становится не только нанокристаллической, что приводит к повышению твердости, но и нанокпозиционной, что вызывает повышение пластичности.

Лакокрасочные покрытия. Наносимые на поверхности металлических деталей лакокрасочные покрытия являются одним из самых распространенных и надежных способов защиты их от коррозии.

Значительные перспективы имеют лакокрасочные нанопокртия. Модифицирование лакокрасочных материалов наночастицами различного состава дает возможность обеспечить сочетание в них таких свойств, как высокая эластичность, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость, гидрофобность. Неорганическими компонентами таких материалов могут быть нанопорошки металлов, диоксидов кремния и титана, сульфата бария, оксидов алюминия, циркония и других веществ, включая полимеры. Эффективными модификаторами лакокрасочных материалов также являются фуллерены, углеродные нанотрубки, наноалмазы.

4.3 Аддитивные технологии ремонта деталей машин

Металлические детали

Среди различных традиционных технологий восстановления изношенных металлических деталей наиболее широко применяются технологии наплавки, в частности, лазерная наплавка, которую можно

приповерхностную часть покрытия из материала с повышенной прочностью, совмещая, таким образом, восстановление с упрочнением. Типичный пример реализации LENS-технологии показан на рисунке 4.15.

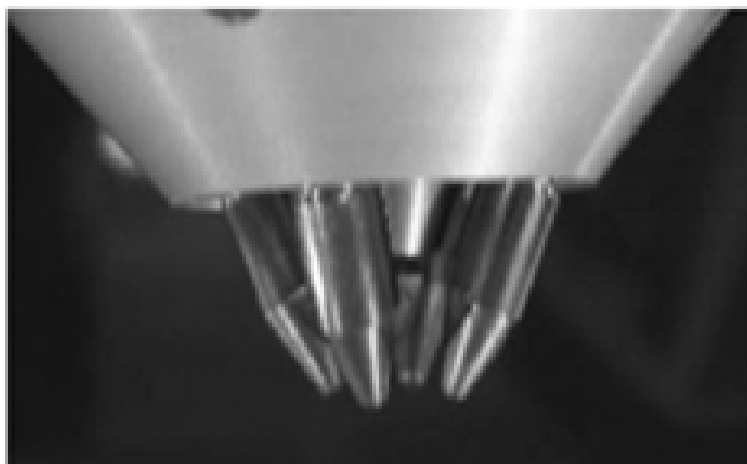


Рисунок 4.14 - Лазерная головка с несколькими соплами

Достоинством LENS-технологии также является возможность восстанавливать тонкостенные элементы деталей. При ее использовании в зоне лазерной обработки образуется малая зона теплового влияния, благодаря чему оказывается незначительное тепловое воздействие на микроструктуру материала. Детали с наплавкой, осуществляемой с помощью этой технологии, по прочностным свойствам превосходят аналогичные детали, полученные литьем либо горячим изостатическим прессованием, а также сопоставимы с коваными деталями.



Рисунок 4.15 - Пример реализации LENS-технологии

На рисунках 4.16 и 4.17 приведены типичные примеры ремонтных работ, выполненных с использованием LENS-технологии.



Рисунок 4.16 - Устранение литейных дефектов в виде пор на поверхности колеса. Основа колеса выполнена из никелевых/титановых сплавов, наплавка – из того же материала

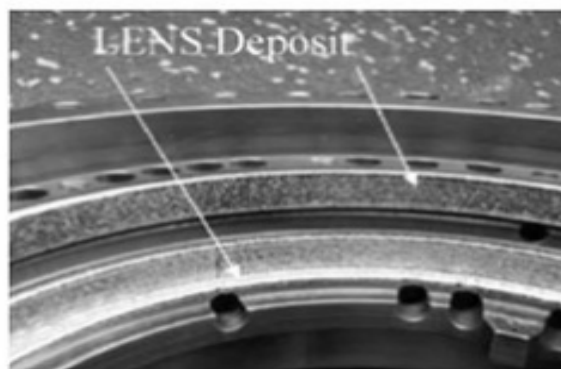


Рисунок 4.17 - Ремонт опорного фланца: наплавка изношенных кольцевых элементов из титанового сплава (указаны стрелками)

Рисунки 4.18-4.20 демонстрируют возможности осуществления градиентной наплавки при использовании LENS-технологии. На рисунке 4.18 показаны характерные изменения состава и структуры материала на разных участках по толщине наплавляемого покрытия. Градиентная наплавка по прочности превосходит материал основы (рисунок 4.19), что делает перспективным ее применение для восстановления изношенных или разрушенных деталей с одновременным упрочнением критически важных зон деталей (рисунок 4.20).

При реализации LENS-технологии за счет регулирования скорости охлаждения наплавляемого слоя (от 1000 до 5000°C/сек и более) становится возможным формирование заданной микроструктуры наплавки. В частности, быстрое отверждение наплавки позволяет формировать субмикронную микроструктуру, а в случае градиентной наплавки можно получать отдельные участки наплавляемого слоя с требуемой макро-, микро- или нанозернистой структурой. Осуществляемое таким образом регулирование структуры важно, например, при наплавке упрочняющих покрытий на тяжело нагруженные детали зубчатых передач.

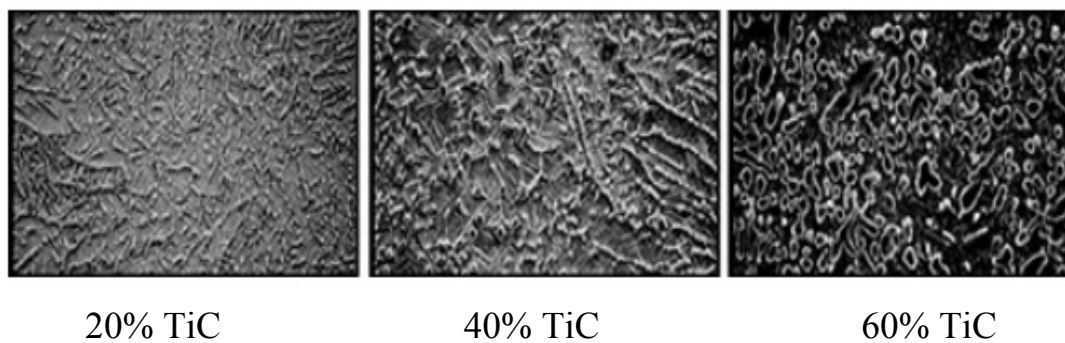


Рисунок 4.18 - Распределение TiC в Ti-матрице на разных участках по толщине слоя наплавленного покрытия

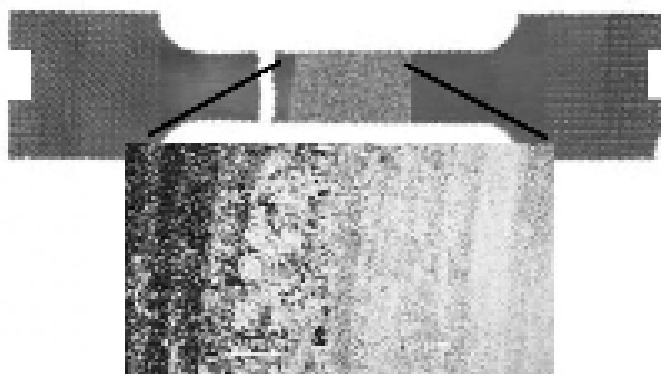


Рисунок 4.19 - Микрошлиф градиентной наплавки и результат испытания образца на разрыв

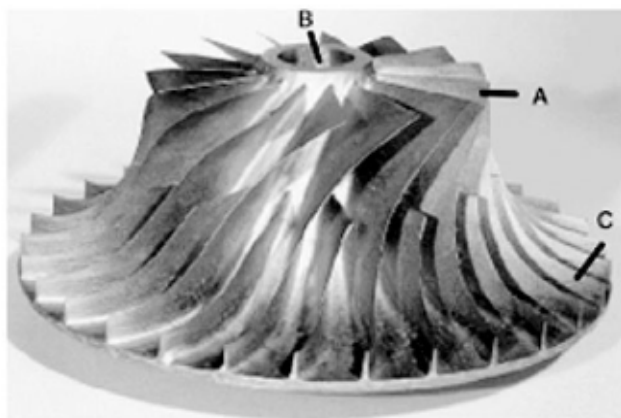


Рисунок 4.20 - Градиентная наплавка колеса из титановых сплавов: Ti-6-4 (участок B) и Ti-22-23 (участки A и C)

Дополнительные возможности LENS-технологии по улучшению свойств восстанавливаемых деталей связаны с формированием наплаваемых слоев из композитных материалов. В частности, в процессе наплавки в состав наносимого основного порошка можно

вносить углеродные нанотрубки, фуллерены, карбид бора и другие упрочняющие добавки.

Ниже кратко рассмотрен опыт ремонта различных деталей, выполнявшегося с помощью LENS-технологии (рисунок 4.21-4.23).

На рисунке 4.21 показан пример восстановления корпуса подшипника из сплава Ti-6Al-4V Ti-6Al-4V, используемого в газотурбинном двигателе. Поверхность гнезда подшипника была сильно изношена, так что корпус считался непригодным для работы. Для восстановления изношенной области был использован LENS-процесс, после чего была выполнена финишная механическая обработка. Корпус был успешно отремонтирован без каких-либо деформаций (короблений) и прошел пробный прогон в двигателе. Затраты на ремонт составили около 50% от цены новой детали. Срок поставки отремонтированного корпуса составлял несколько дней по сравнению с несколькими неделями в случае поставки нового корпуса.

На рисунке 4.22 показан пример весьма тонкого восстановления лабиринтного уплотнения компрессора газовой турбины, изготовленного из сплава Inconel 718. Когда лабиринтное уплотнение оказывается чрезмерно малым в диаметре, оно становится непригодным для работы, поскольку двигатель теряет мощность. Тестовый образец уплотнения был восстановлен наплавкой слоя из сплава Inconel 718 по LENS-технологии. Стоимость восстановленного уплотнения составила около 45% стоимости нового уплотнения. Восстановительная наплавка вызвала небольшое уменьшение внутренних диаметров, которое было обнаружено в процессе проверки. Эти диаметры были подвергнуты механической обработке для достижения требуемых значений в пределах установленных допусков.

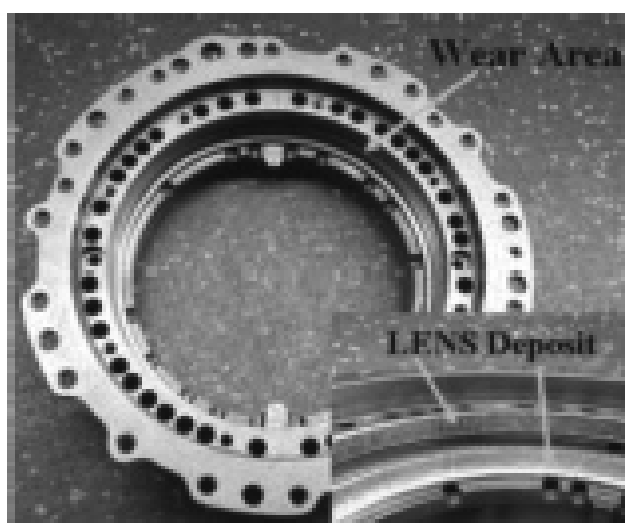


Рисунок 4.21 - Восстановление корпуса подшипника



Рисунок 4.22 - Восстановление лабиринтного уплотнения компрессора газовой турбины



Рисунок 4.23 - Сравнение вала, восстановленного газотермическим напылением (вверху) и LENS-технологией

В верхней части рисунка 4.23 показан высокоскоростной приводной вал, восстановленный путем обычного газотермического напыления, где обращает на себя внимание отслаивание в восстановленной конусообразной области вала, а в нижней части – такой же вал, восстановленный с помощью LENS-технологии. Лазерную наплавку проводили с использованием нержавеющей стали 420, которая является более твердой и обладает большей коррозионной стойкостью, чем исходный материал основы или материалы, используемые для восстановления напылением. Затраты на восстановление вала с помощью LENS-технологии составили менее 50% стоимости новой детали.

LENS-технология успешно применялась для восстановления ряда других деталей, в частности, таких как:

- подшипники, уплотнения и соединительные муфты на валах, которые не поддаются восстановлению обычными методами сварки;
- высокоскоростные (до 12 800 об/мин), высокомошные (до 3500 л.с.) и высокоточные валы (с допусками в 0,0005 дюйма);
- крупногабаритный из стали 4340 был диаметром 18 дюймов и длиной 16,5 фута с шестерней на одном конце и шлицем на другом конце, для ремонта которого потребовалось около 10 кг наплавочного материала.

На рисунке 4.24 показан пример использования LENS-технологии для восстановления деталей авиационного двигателя.

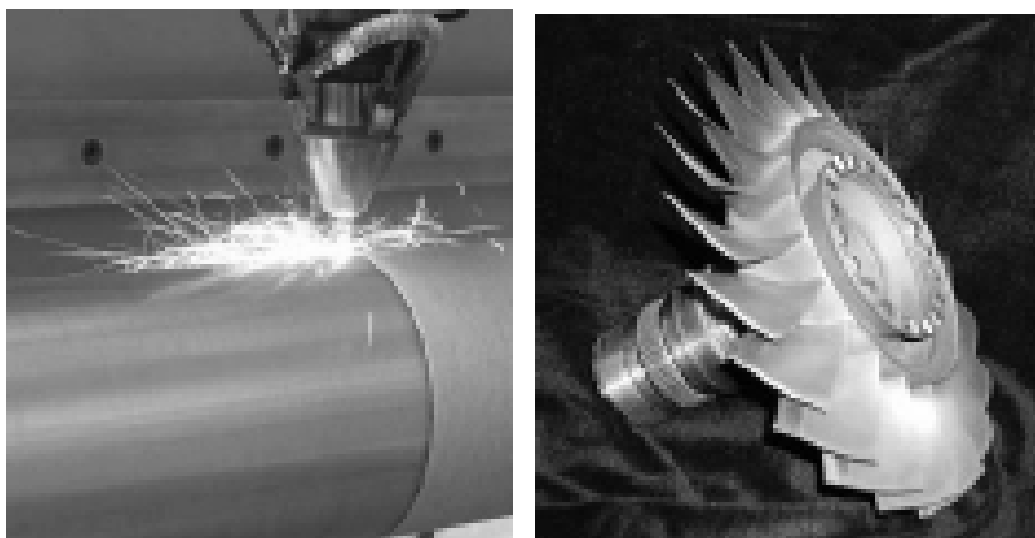


Рисунок 4.24 - Восстановление деталей авиационного двигателя

Для восстановления металлических деталей, наряду с LENS-технологией, широко применяются и другие варианты AM-технологий, основанных на процессах лазерной наплавки. Так, восстановление пуансонов, служащих для производства шатунов автомобильных двигателей, осуществлялось с помощью 3D-принтера компании InssTek (Южная Корея), работающего по технологии DMT (Direct Metal Tooling). Для печати использовалась инструментальная сталь, которая обеспечивала высокоплотную однородную структуру наплавляемого лазером покрытия. Скорость наращивания слоев доходила до 35 см³/ч, что делает данный способ ремонта одним из самых быстрых и эффективных. Практика показала, что пуансоны, отремонтированные методом металлической 3D-печати, выходят после выпуска 150 000 шатунов, в то время как пуансоны, производимые по традиционной технологии, оказались в состоянии изготавливать лишь около 45 000 шатунов. При этом общие ремонтные расходы по данной технологии были меньше стоимости обычной технологии изготовления новых пуансонов.

Для восстановления металлических деталей также применяются технологии EBDM (Electron Beam Direct Manufacturing) и IFF (Ion Fusion Formation). Согласно технологии EBDM изношенные поверхности детали восстанавливаются послойным наплавлением материала с помощью электронного луча, а согласно технологии IFF – с помощью потока плазмы, генерируемого плазмотроном. В качестве исходного материала используется прутки из алюминиевых и титановых сплавов, инконеля, конструкционных сталей и др. металлов.

Пластмассовые детали

Совершенствование конструкции машин связано с постоянно расширяющимся применением в качестве конструкционных материалов различных видов пластмасс: полиэтилена, полипропилена, полиамида, поликарбоната и др. В последние годы растет использование пластмасс в конструкциях тракторов, сельскохозяйственных и транспортных машин. В связи с этим приобретают особую актуальность вопросы ремонта деталей из пластмасс. Обычно такие детали восстанавливают, используя методы механического, клеевого или сварного соединения. Более эффективно ремонтировать детали из пластмасс с использованием АМ-технологий. Так, с помощью 3D-принтеров проводят ремонт шестерней различной конструкции, корпусных элементов различного размера и других пластмассовых деталей. Примеры ремонта пластмассовых деталей с помощью 3D-принтеров показаны на рисунках 4.25 и 4.26.



Рисунок 4.25 - Восстановленная с помощью 3D-принтера и сломанная деталь из пластика

Для ремонта пластмассовых деталей в принципе можно применять различные типы 3D-принтеров, осуществляющих печать полимерными материалами. Для устранения некоторых повреждений пластмассовых деталей удобно использовать 3D-ручки, которые представляют собой упрощенный вариант 3D-принтеров.

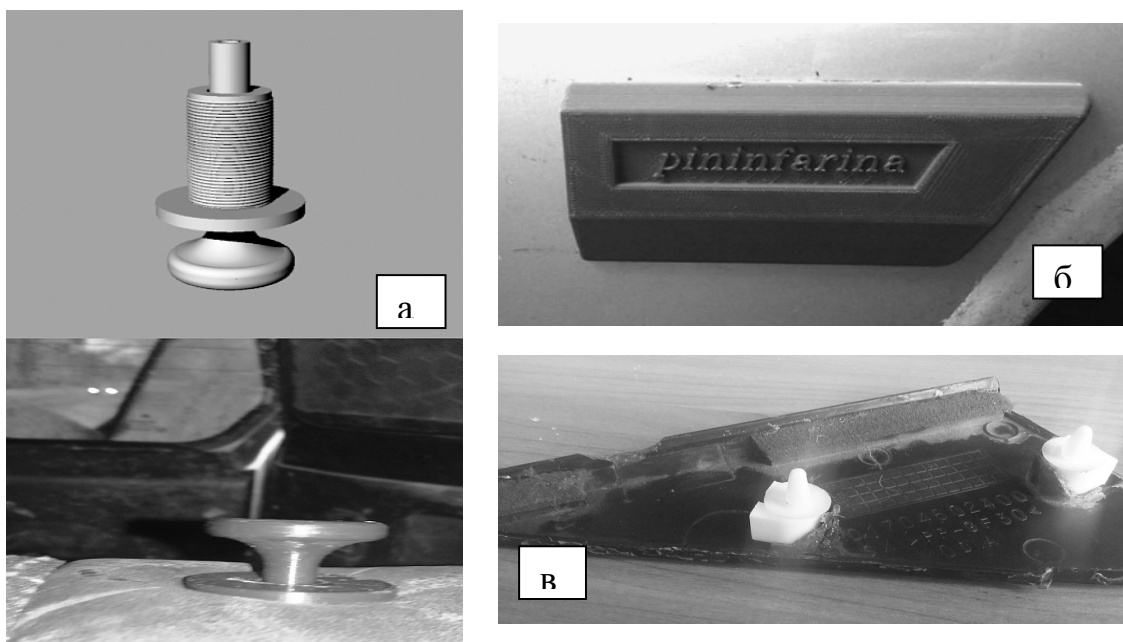


Рисунок 4.26 - Ремонт пластмассовых деталей автомобиля Mitsubishi Pajero Pinin с помощью 3D-принтера

а – ручка механизма раскладывания заднего сиденья (пластик PLA PrintProduct); б – молдинг переднего крыла (пластик ABS 3D Lines); в – ремонтные вставки для крышки зеркала (пластик PLA Esun)

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой интегрированные упрочняющие технологии?
2. В чем состоят особенности совместного протекания процессов оксидирования деталей на основе алюминия и вибрационной обработки?
3. Приведите примеры технологий цементации металлических покрытий.
4. Какие эффекты упрочнения достигаются при статико-импульсной обработке поверхностей стальных деталей с последующей цементацией?
5. Какие эффекты упрочнения достигаются при электроконтактной обработке газотермических покрытий?
6. Как протекают процессы электромеханоультразвуковой обработки?
7. Назовите основные виды конструкционных наноструктурных материалов, используемых для изготовления деталей машин.
8. Каковы особенности структуры и свойств металлических нанокристаллических материалов?

9. Каковы особенности структуры и свойств металлических и полимерных нанокomпозиционных материалов?
10. Каковы особенности структуры и свойств керамических нанокристаллических и нанокomпозиционных материалов?
11. В чем состоят преимущества наногерметиков по сравнению с обычными герметиками, применяемыми для герметизации узлов машин?
12. В чем состоит сущность процессов упрочняющего поверхностного наномодифицирования материалов?
13. Назовите разновидности технологий упрочняющего наномодифицирования поверхностей деталей машин.
14. Назовите разновидности упрочняющих нанопокровтий.
15. Дайте сравнительную характеристику разных видов технологий напыления нанопокровтий.
16. Дайте сравнительную характеристику разных видов технологий наплавки нанопокровтий.
17. Какие эффекты упрочнения достигаются при формировании наноструктуры в гальванических и лакокрасочных покрытиях?
18. Как получают наноструктурные фрикционно-переносимые покрытия?
19. Приведите примеры восстановления металлических деталей машин с помощью аддитивных технологий.
20. Приведите примеры восстановления пластмассовых деталей машин с помощью аддитивных технологий.

ГЛАВА 5 ИНТЕГРИРОВАННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

5.1 Интегрированные технологии резки

Анодно-механическая резка

Технология анодно-механической резки (АМР) основана на комбинированном воздействии электрохимических (ЭХ), электроэрозионных (ЭЭ), тепловых, гидродинамических и механических факторов на разрезаемую заготовку и электрод-инструмент (ЭИ), который выполняется в виде диска или бесконечной ленты.

На рисунке 5.1 показана схема дисковой АМР. Зажимы источника 1 постоянного электрического тока низкого напряжения соединены с разрезаемой металлической заготовкой 2 и дисковым электродом-инструментом (ЭИ) 3. Заготовка является анодом, а ЭИ – катодом. В межэлектродное пространство в зону реза по трубке 4 подводится рабочая электропроводящая жидкость (электролит), которая при резке замыкает электрическую цепь. Под действием электрического тока металл в зоне реза разрушается, а образующийся шлам удаляется из полости раздела вращающимся ЭИ и струей рабочей жидкости.

На рисунке 5.2 показана схема ленточной АМР, аналогичная по принципу действия дисковой АМР.

АМР представляет собой сочетание анодного растворения и электроэрозионного воздействия на обрабатываемую заготовку при движущемся относительно обрабатываемой поверхности ЭИ. При этом электролит создает на аноде пассивирующую пленку (обычно водный раствор жидкого стекла).

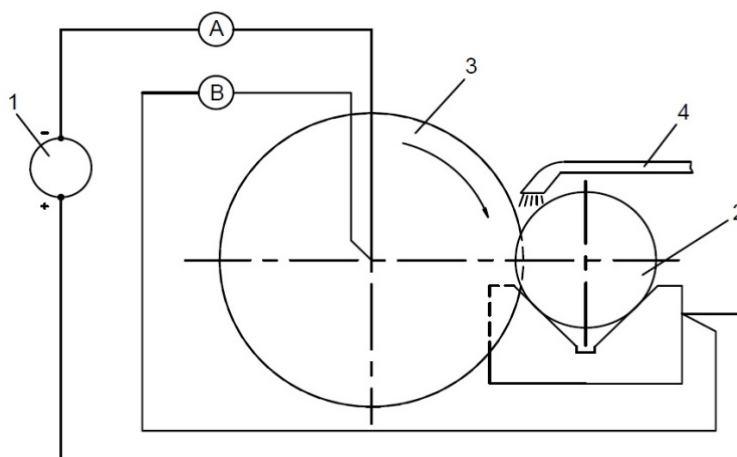


Рисунок 5.1 - Дисковая анодно-механическая резка

1 – источник постоянного тока, 2 – заготовка, 3 – дисковый электрод-инструмент, 4 – трубка подвода рабочей жидкости

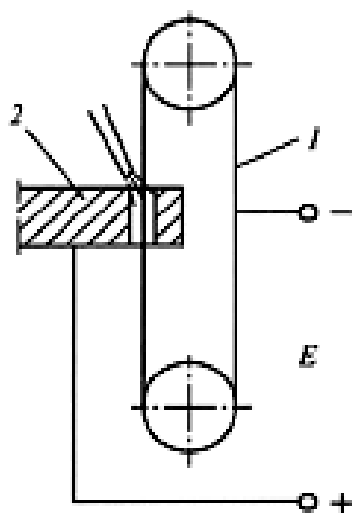


Рисунок 5.2 - Дисковая анодно-механическая резка
 1 – ленточный электрод-инструмент; 2 – заготовка; E – источник постоянного тока

АМР применяется для резки заготовок из высоколегированных сталей и труднообрабатываемых сплавов толщиной до 1000 мм, для шлифования твердосплавных деталей типа втулок, при круглом наружном шлифовании, суперфинишной обработке, хонинговании, полировании и т.д.

Электроконтактно-абразивная резка

Технология электроконтактно-абразивной резки (ЭКАР) является разновидностью технологии электроконтактной резки и осуществляется ЭИ с абразивно-изоляционным покрытием. Схема ЭКАР показана на рисунке 5.3. В качестве ЭИ используются диски, трубы, ленты, в качестве рабочей жидкости – вода.

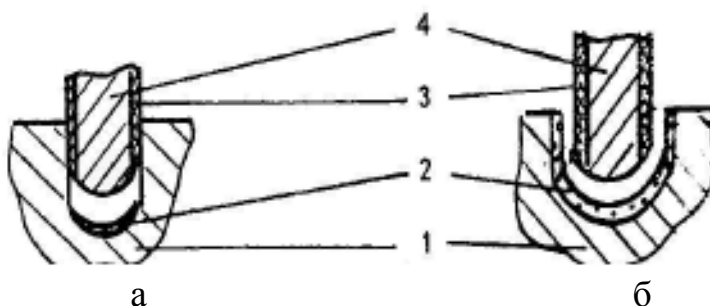


Рисунок 5.3 - Схема электроконтактно-абразивной резки при рабочем напряжении 15-21 В (а) и более 21 В (б)
 1 – заготовка; 2 – измененный слой; 3 – абразивно-изоляционное покрытие; 4 – электрод-инструмент

ЭКАР по сравнению с абразивной резкой имеет ряд преимуществ, в частности, обеспечивает более высокую прочность ЭИ и возможность резки материалов, которые не могут обрабатываться абразивной резкой (например, монокристаллов молибдена).

Технология ЭКАР может реализовываться в двух режимах – чистовом и черновом. Чистовой резке подвергаются заготовки из труднообрабатываемых металлов и сплавов, при этом параметр шероховатости получаемой поверхности доходит до $Ra = 0,63$ мкм. При черновой резке значительно увеличивается производительность процесса, но параметр шероховатости не лучше, чем $Ra = 160$ мкм.

Электроэрозионно-химическая резка

Технология электроэрозионно-химической резки (ЭЭХР) основана на совмещении электроэрозионной (ЭЭ) и электрохимической (ЭХ) обработки, в результате чего происходит разрушение материала заготовки, диспергированные частицы которой выносятся из зоны обработки движущимся ЭИ и потоком рабочей жидкости.

ЭЭХР, схематично показанная на рисунке 5.4, осуществляется в два этапа. На первом этапе происходит непосредственно резка. При этом основную роль в удалении металла с заготовки играют эффекты ЭЭ обработки, а также механической обработки (последние проявляются в удалении расплавленного металла и шлама из зоны резания вращающимся дисковым ЭИ).

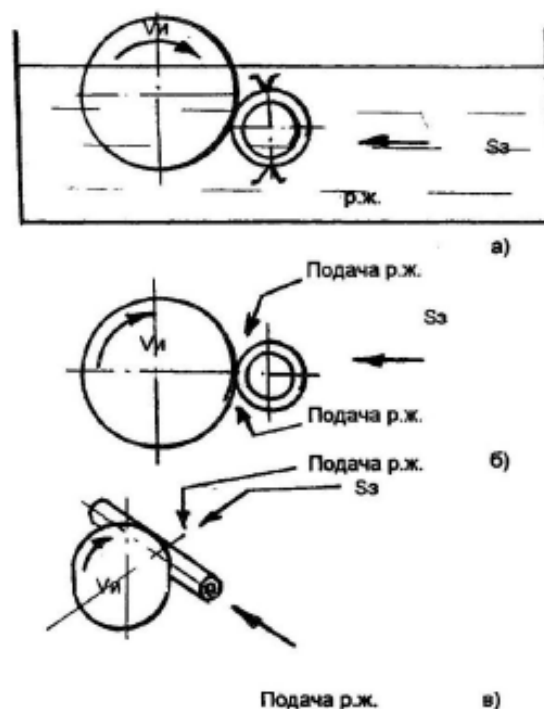


Рисунок 5.4 - Схема электроэрозионно-химической резки при подаче рабочей жидкости окупанием (а), струей снизу и сверху (б), сверху и через полую заготовку (в)

Резка характеризуется высокими значениями рабочего электрического тока (плотность не менее 3 А/мм^2) и напряжения (не менее 10 В), продольной подачей ЭИ (не менее $0,1 \text{ м/мин}$). На втором этапе происходит снятие заусенцев, скругление острых кромок, а также частичное или полное удаление измененного слоя. Основную роль в этих процессах играют эффекты ЭХ обработки.

Основными факторами, влияющими на процесс резки, являются продольная подача ЭИ или заготовки, рабочее напряжение, частота вращения детали (если деталь вращается), состав и способ подачи рабочей жидкости (10% водный раствор NaCl). Наиболее эффективно подавать рабочую жидкость в зону резки снизу и сверху или вокруг всей заготовки с расходом не менее $0,5 \text{ л/мин}$ на 1 мм^2 площади реза.

ЭЭХР обеспечивает повышение производительности труда (особенно при резке заготовок из труднообрабатываемых материалов), исключает необходимость зачистки торца после резки.

Электрохимическая абразивная резка

Технология электрохимической абразивной резки (ЭХАР) реализуется по схеме, показанной на рисунке 5.5. Она совмещает процессы ЭЭ, ЭХ и механической обработки. Эффекты обработки проявляются в результате воздействия электрического тока, рабочей жидкости и абразивных зерен, выступающих из металлической токопроводящей связки.

Для реализации ЭХАР используется довольно жесткое шлифовальное оборудование. Резка осуществляется крупнозернистыми кругами. Рабочая жидкость интенсивно подается в зону резания, т.е. в создаваемый абразивными зёрнами межэлектродный зазор между обрабатываемой поверхностью и связкой круга.

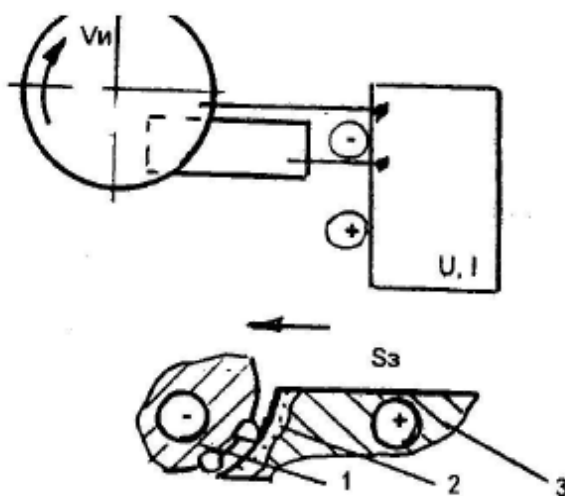


Рисунок 5.5 - Схема электрохимической абразивной резки
1 – отрезной абразивный круг на металлической связке; 2 – измененный поверхностный слой; 3 – заготовка

Основные характеристики процесса ЭХАР: производительность не более 10 см²/мм; удельный износ абразива круга 3,5 мг/г; эффективная мощность 1,5 кВт; параметр шероховатости Ra 0,63-1,25 мкм; боковой межэлектродный зазор 0,08-0,12 мм; напряжение 9-12 В; скорость продольной подачи 0,085-0,1 м/мин.

Гидроабразивная резка

Технология гидроабразивной резки (ГАР) является альтернативой механической, лазерной и ультразвуковой и другим видам резки, а в некоторых случаях – единственно возможной. В ней используются эффекты гидроэрозионного (струеударного и кавитационного) и механического воздействия, а также эффект Ребиндера. Интенсивная струя жидкости по техническим возможностям близка к идеальному точечному инструменту, что позволяет обрабатывать с ее помощью сложные профили с довольно малыми радиусами скругления. Скорость рабочей жидкости на выходе из сопла доходит до 1200 м/с (давление воды в технологической системе достигает 500 Мпа) при сечении сопла – 0,1-0,5 мм, ширина реза составляет 0,1-3,0 мм.

Сущность ГАР состоит в отрыве и уносе из зоны резания частиц основного (разрезаемого) материала скоростным потоком ударяющихся и скользящих по поверхности реза абразивных частиц, что дополняет струеударные и кавитационные эффекты гидроэрозии. Вода, нагнетаемая насосом до сверхвысокого давления, подается в режущую головку. Струя воды, вырываясь через узкое сопло с околосвуковой или сверхзвуковой скоростью, поступает в смесительную камеру, где смешивается с частицами абразива – гранатовым песком, зернами электрокорунда, карбида кремния или другого высокотвердого материала. Полученная пульпа выходит из смесительной камеры и разрезает материал. На рисунке 5.6 показана схема ГАР, а на рисунке 5.7 – схема смешивания частиц абразива.

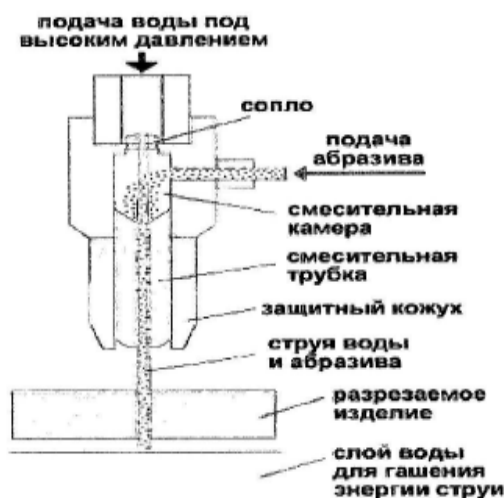


Рисунок 5.6 - Схема гидроабразивной резки

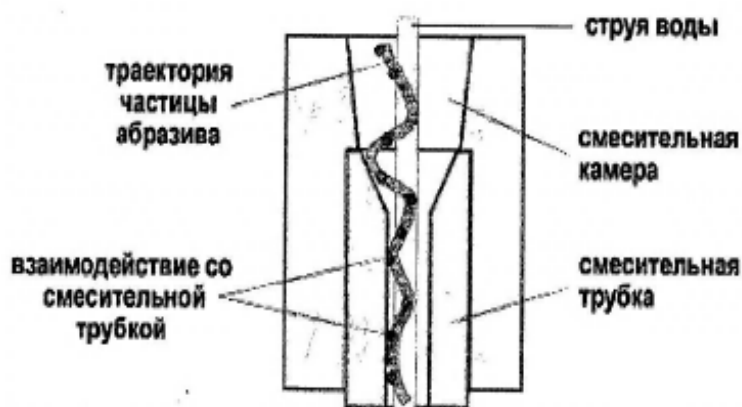


Рисунок 5.7 - Схема смешивания частиц абразива

При обычной гидрорезке (без абразива) схема процесса проще – вода вырывается через сопло и направляется на разрезаемое изделие.

В таблице 5.1 представлены для сравнения основные области применения гидрорезки и ГАР.

Таблица 5.1 - Области применения гидрорезки и гидроабразивной резки

Гидрорезка	Гидроабразивная резка
Кожа, текстиль войлок (легкая промышленность)	Листы из металлов и сплавов
Пластики, резиновые изделия (автомобильная промышленность)	Различные металлические изделия (отливки, штамповки и др.)
Теплоизоляционные, уплотнительные и шумопоглощающие материалы	Композиционные материалы, бетоны, железобетонные, гипсовые блоки и др.
Продукты питания	Стекло, в т.ч. бронированное, керамика, материалы с покрытием

В процессе ГАР разрушительная способность струи создается в основном за счет абразива, в то время как вода выполняет преимущественно транспортную функцию. Для обеспечения эффективного воздействия и стабильного истечения режущей струи размер абразивных зерен подбирается равным 100-250 мкм, что составляет 10-30% диаметра струи.

Сопла обычно изготавливают из сапфира, рубина или алмаза, срок их службы доходит до 2000 ч. Смесительные трубки изготавливают из сверхпрочных сплавов, срок их службы доходит до 200 ч.

Основные технологические параметры процесса ГАР: скорость резки; вид, свойства и толщина разрезаемого изделия; внутренние диаметры сопла и смесительной трубки; тип, размер, скорость потока и концентрация в режущей смеси абразивных частиц; давление.

Качество реза существенно зависит от скорости резки (скорости перемещения режущей головки вдоль поверхности обрабатываемого изделия). При чрезмерно высокой скорости происходит отклонение (занос) водно-абразивной струи от прямолинейности, что приводит к ухудшению качества реза.

С уменьшением внутреннего диаметра смесительной трубки повышаются производительность и точность резки, уменьшается ширина реза. Вместе с тем снижается срок службы трубки.

С помощью ГАР можно разрезать практически любые материалы, толщина разрезаемых материалов может достигать 500 мм и более. При этом отсутствуют практически механические и температурные деформации, что положительно отличает ГАР от термической резки (плазменной, лазерной, кислородной и др.). ГАР особенно эффективно применять в отношении алюминия, меди, латуни в сравнении с термической резкой из-за высокой теплопроводности этих материалов и низкой способности поглощать лазерное излучение.

В машиностроении ГАР применяется при производстве деталей из меди, титановых, алюминиевых, хромо-никель-кобальтовых сплавов, высокопрочных и коррозионностойких сталей, композиционных материалов, пластиков, а также для резки стекла.

5.2 Интегрированные технологии финишной обработки

Анодно-абразивная обработка

Технологии анодно-абразивной обработки (ААО) подразделяются на два вида: 1) с использованием монолитного абразивного ЭИ и 2) с использованием свободного абразива (рабочей жидкости, содержащей абразивные частицы).

Схема ААО с использованием монолитного абразивного ЭИ показана на рисунке 5.8. Сила G , приложенная к ЭИ извне, прижимает его к электроду-заготовке (ЭЗ), так чтобы между обоими телами не было обширного контакта и их электропроводные поверхности оказались разделенными межэлектродным зазором b_{\min} . При этом через зазор протекает рабочий ток I , а электрическая мощность, расходуемая на обработку, равна $P = UI$, где U – напряжение источника питания.

Внешняя сила G вызывает силу трения $G_{\text{тр}}$, которая приложена к поверхности ЭИ, движущейся со скоростью $V_{\text{и}}$.

В процессе ААО происходит преимущественно удаление выступов δ на заготовке, во впадинах материал снимается менее интенсивно, что обуславливает низкую шероховатость обработанной поверхности.

Удаленное с заготовки вещество может находиться одновременно в трех конечных состояниях: оно быть химически связанным с компонентами рабочей жидкости (электролитом) (как при ЭХ обработке), в виде застывших капель металла (как при ЭЭ обработке) и в виде механически сколотых частиц – стружки.

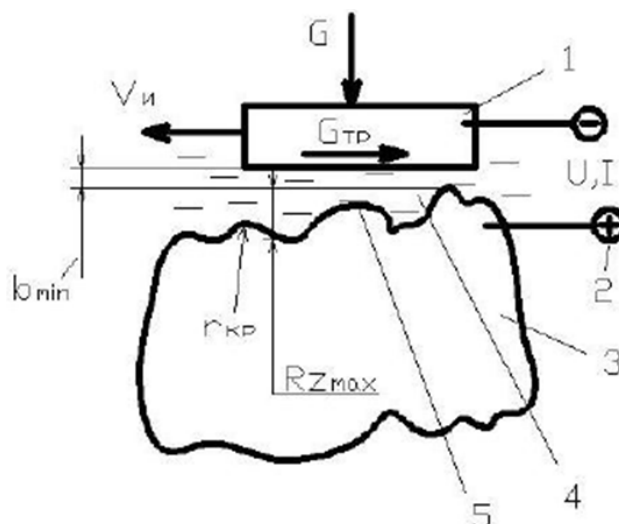


Рисунок 5.8 - Схема анодно-абразивной обработки с использованием монолитного абразивного электрода-инструмента
 1 – электрод-инструмента; 2 – источник тока; 3 – заготовка; 4 – рабочая жидкость; 5 – выступы (микронеровности)

Чтобы усилить обработку на выступах, следует выбирать условия ААО, обеспечивающие такую геометрию межэлектродного зазора, для которой соотношения Rz_{max}/b_{min} и $b_{min}/r_{кр}$ были бы достаточно высокими. Подбор режимов обработки совместно с использованием пассивирующей (окислительной) рабочей жидкости обеспечивает высокое отношение плотности тока на выступах к плотности тока на впадинах $j_{выст}/j_{вп}$.

При протекании рабочего тока среда, заполняющая межэлектродный зазор, расширяется в результате газовыделения и теплового расширения. Для сближения электродов, т.е. для уравнивания гидростатического давления в зазоре, необходима внешняя сила G . Такое уравнивание достигается при определенном зазоре, которому соответствует некоторое среднее давление ЭИ. При большом давлении электропроводные участки касаются друг друга, нарушается пассивирующая пленка на заготовке, происходит короткое замыкание и идет ЭЭ процесс.

В случае ААО с использованием свободного абразива электроды могут устанавливаться на сравнительно большом расстоянии друг от друга. Вследствие относительного движения рабочей жидкости и заготовки абразивные частицы удаляют пассивирующую пленку преимущественно с выступов и поверхности заготовки, благодаря чему металл этих выступов быстро растворяется и межэлектродный зазор увеличивается. Однако увеличение расстояния между электродами приводит к снижению плотности тока и падению производительности обработки, поэтому данный вид ААО целесообразно применять только для улучшения качества поверхности заготовок.

В качестве абразива используются различные керамические материалы с размерами частиц 5-20 мкм. Электролитом для обработки сложных алюминиевых корпусов служит 2-2,5% водный раствор азотной кислоты.

На рисунке 5.9 представлены две технологические схемы использования ААО со свободным абразивом.

Эффективность ААО зависит от скорости вращения детали, свойств и температур электролита и других факторов. Скорость вращения детали обычно устанавливают в пределах 2-15 м/мин, направление вращения периодически меняют. Продолжительность цикла вращения в основном зависит от формы и размеров детали.

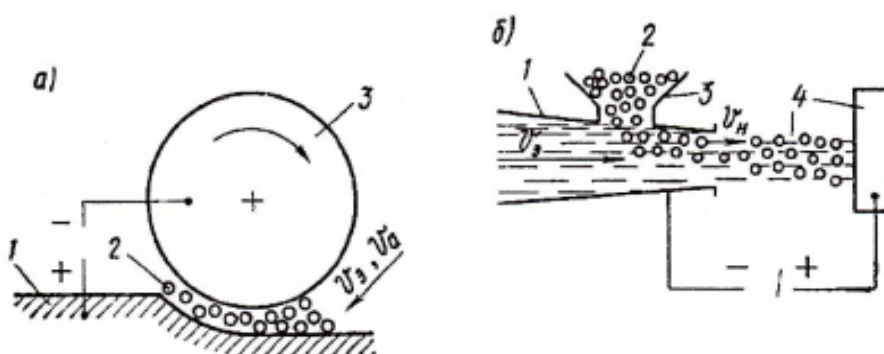


Рисунок 5.9 - Схемы анодно-абразивной обработки с использованием свободного абразива

а – подача поливом; б – эжекционная подача в протоке рабочей жидкости; 1 – обрабатываемое изделие; 2 – абразив; 3 – эжектор; 4 – анод

Концентрация электролита не оказывает существенного влияния на качество обработанной поверхности, но ее повышение увеличивает электропроводность электролита, что позволяет снизить напряжение, подводимое к электродам.

Анодно-механическое хонингование

Анодно-механическим хонингованием (суперфинишированием) (АМХ) называют обработку продукты анодного растворения удаляются механическим воздействием абразивной суспензии (рабочей жидкости) и неметаллического притира при наличии дополнительного катода или абразивными брусками, установленными в хонинговальную головку, являющуюся катодом. При АМХ основной припуск удаляется анодным растворением, в то время как роль микрорезания сводится к механической депассивации поверхности заготовки.

Основные характеристики процесса АМХ: шероховатость поверхности, обработанной абразивными брусками, $Ra = 0,04-0,16$ мкм; отклонение цилиндричности при обработке отверстий – 3-5 мкм на длине 100 мм; отклонение от круглости – не выше 0,8-2,0 мкм.

Схема АМХ с использованием брусков из изоляционных материалов в качестве инструмента депассивации показана на рисунке 5.10.

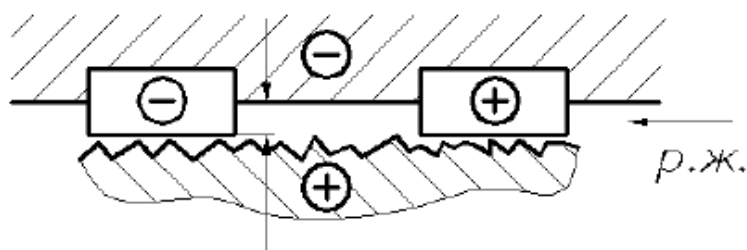


Рисунок 5.10 - Схема анодно-механического хонингования

Процесс АМХ основан на использовании эффектов ЭХ обработки и механического удаления образовавшихся окислов (за счет диэлектрических вставок). По производительности АМХ в 15 раз превышает обычное хонингование (суперфиниширование).

Антифрикционная электромеханическая обработка

Технология финишной антифрикционной электромеханической обработки (АФЭМО) применяется для повышения антифрикционных свойств поверхностей трения деталей, для чего эти поверхности покрываются тонким (1-2 мкм) слоем меди или ее сплавов за счет использования эффекта переноса металла при трении.

Сущность ФАБО состоит в нанесении на поверхность стальных и чугунных деталей тонкого антифрикционного слоя из различных твердосмазочных материалов с последующей электромеханической обработкой. Такая обработка позволяет изменить структуру поверхностного слоя, повысить его износостойкость, улучшить эксплуатационные свойства, особенно антифрикционные.

В качестве твердо-смазочных материалов используют слоистые вещества (графит, дихалькогениды тугоплавких металлов (молибдена, вольфрама, ниобия) и др.), антифрикционные покрытия, образованные на рабочих поверхностях в результате химической реакции (сульфиды, фосфаты, высокотемпературные термохимические покрытия на основе молибдена и ниобия), мягкие металлы и их окислы (медь и ее сплавы, свинец, баббиты и др.), полимерные материалы.

Твердо-смазочные материалы наносят на обрабатываемые поверхности разными способами: натиранием поверхности, осаждением из суспензии в смеси с поверхностно-активным веществом (ПАВ), газопламенным или газодинамическим напылением и др. Для повышения качества нанесения твердосмазочного материала обрабатываемую поверхность заранее доводят до требуемой шероховатости.

Схема АФЭМО показана на рисунке 5.11.

На поверхность с исходной шероховатостью (рисунок 5.11, а), достигнутой на предыдущих этапах механической обработки, наносят твердосмазочный материал натиранием. В результате получается поверхность, состоящая из основного материала 1 и антифрикционного слоя 2, частицы которого располагаются во впадинах исходного профиля (рисунок 5.11, б). При последующей электромеханической обработке в месте контакта обрабатывающего инструмента с деталью происходит деформация поверхности и ее местный нагрев выше температуры фазового превращения. Это приводит к сглаживанию микронеровностей с одновременным заполнением полостей, устьев микротрещин и углублений твердосмазочным антифрикционным материалом (рисунок 5.11, г) и образованием «белого» слоя высокой твердости 3. На рисунке 5.11, в показана схема АФЭМО с нанесением антифрикционного слоя 4 путем осаждения из суспензии. Последующая электромеханическая обработка формирует поверхность с требуемыми антифрикционными характеристиками, впадины которой заполнены твердосмазочным материалом 4 (рисунке 5.11, д), продукты деструкции которого остаются на обрабатываемой поверхности и способствуют повышению антифрикционных свойств. Кроме того, за счет термодформационного воздействия образуется «белый» слой 3 повышенной твердости.

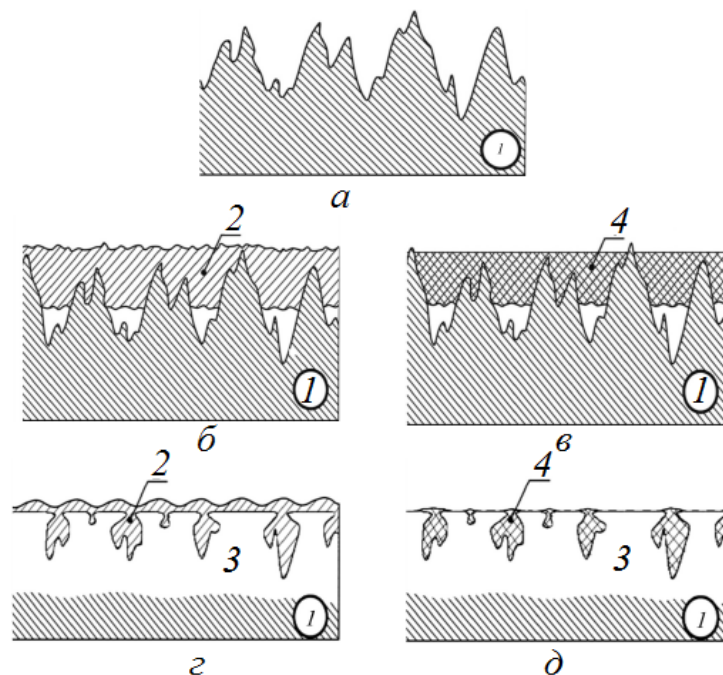


Рисунок 5.11 - Схемы нанесения антифрикционного материала с последующей электромеханической обработкой
а – исходная поверхность; б – поверхность после натирания антифрикционным металлом; в – поверхность с нанесенной суспензией антифрикционной смеси на основе ПАВ; г и д – поверхности (б) и (в) после электромеханической обработкой

В процессе работы трибосистемы находящийся во впадинах твердосмазочный материал за счет нагрева и последующего расширения заполняет пространство между трущимися деталями, обеспечивая их смазку.

АФЭМО позволяет получать поверхность, состоящую из упрочненного слоя с твердостью до 9 ГПа (белый слой 3 (рисунок 5.11, г и 5.11, д), что повышает антифрикционные свойства поверхностного слоя деталей, а также коррозионную стойкость.

5.3 Аддитивные технологии изготовления деталей

Прямое изготовление деталей

При прямом изготовлении предполагается, что готовая деталь получается непосредственно в результате реализации АМ-технологии.

Металлические детали. В промышленности в основном применяются две группы АМ-технологий, позволяющих печатать металлами:

1) технологии, в которых металлические порошки селективно связываются склеивающим веществом (при этом полученные изделия подвергаются дополнительному обжигу)

2) технологии, в которых металлические порошки подвергаются селективному спеканию или сплавлению лазерным или электронным лучом.

С их помощью можно получать изделия из различных металлов: нержавеющей стали, бронзы, титановых, никелевых и алюминиевых сплавов, сверхпрочного сплава кобальт-молибден-хром и др. Изделия, создаваемые по технологиям 1-й группы, характеризуются сравнительно большой пористостью и, соответственно, малой прочностью, поэтому эти технологии имеют ограниченное распространение. Гораздо более широко используются технологии 2-й группы, прежде всего, те, в которых металлические порошки подвергаются сплавлению, поскольку в этом случае получаемые изделия обладают плотной и прочной структурой. Однако стоимость, оборудования, с помощью которого реализуются технологии 2-й группы, весьма высокая.

Различают два вида АМ-технологий, основанных на лазерном спекании металлических порошков: DMLS, Direct Metal Laser Sintering – прямое лазерное спекание металлов и IMLS, Indirect Metal Laser Sintering – не прямое лазерное спекание металлов.

В DMLS-технологии лазерному спеканию подвергаются либо однородные по составу металлические порошки, либо смеси металлических порошков с разными температурами плавления. В первом случае обеспечивается частичная (поверхностная) плавка частиц порошка, необходимая для спекания, в то время как во втором случае спекание происходит за счет плавления легкоплавкого компонента

порошковой смеси. На рисунке 5.12 показан типичный пример металлического изделия, созданного по DMLS-технологии.

В IMLS-технологии используют смесь порошков металла и полимера или порошок металла, частицы которого покрыты полимером, где полимер играет роль связки на стадии первичного формирования изделия, после чего оно подвергается термообработке, в ходе которой полимер удаляется, а образовавшийся пористый металлический каркас дополнительно спекается и пропитывается металлом-связкой.

Как отмечалось выше, наибольшее распространение в промышленности получили AM-технологии, основанные на селективном лазерном сплавлении металлических порошков, т.е. SLM-технологии. С помощью этих технологий можно быстро изготавливать сложные по геометрии металлические изделия, которые по своим качествам превосходят литейное и прокатное производство.



Рисунок 5.12 - Деталь турбины, созданная по DMLS-технологии

Так, компания General Electric (США) приступила к массовому производству топливных форсунок для турбовинтовых двигателей с помощью DMLS-технологии с использованием кобальтохромового порошка.

В процессе лазерного плавления металлического порошка важно обеспечивать регулирование мощности лазера. Чем больше мощность лазера, тем быстрее расплавляется металл и тем быстрее строится деталь. С другой стороны, поскольку в точечную зону лазерного воздействия подводится большое количество энергии, процесс плавления частиц металла идет очень интенсивно и нередко имеет взрывной, трудно контролируемый характер, что приводит к значительному снижению качества создаваемых изделий. При этом становится весьма затруднительным построение сложных тонкостенных элементов изделий.

Для решения этой проблемы разработано AM-оборудование, в котором порошок обрабатывается с помощью двух лазеров. Примером тому является установка SLM 500HL компании SLM Solutions (Германия). В ней основной нагрев металла осуществляется более мощным лазером, в то время как менее мощный лазер

непосредственной формирует внешний контур детали, а также тонкие стенки. Благодаря этому удается создавать детали с толщиной отдельных фрагментов до 0,3 мм (рисунок 5.13), кроме того, увеличивается в несколько раз скорость построения детали, улучшается внутренняя структура и чистота внешней поверхности (Ra 5-10).

На рисунке 5.14 показаны в качестве примера последовательные стадии построения металлического изделия по SLM-технологии.

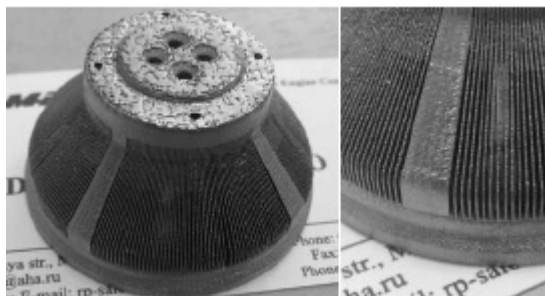


Рисунок 5.13 - Деталь, созданная по SLM-технологии. Толщина рёбер 0,35 мм

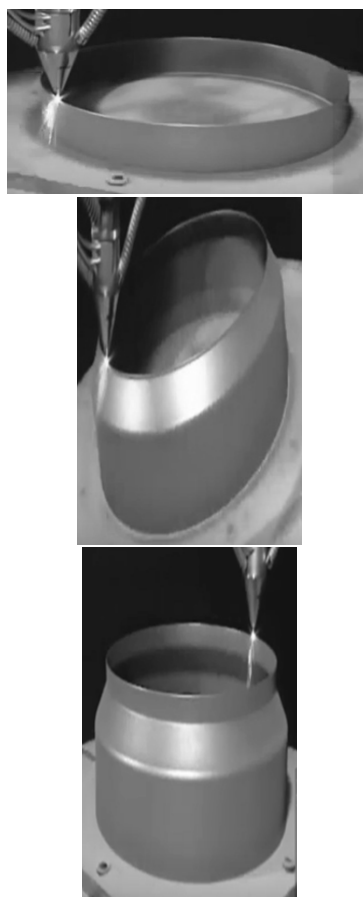


Рисунок 5.14 - Последовательные стадии изготовления металлической детали по SLM-технологии

О достоинствах SLM-технологий свидетельствует опыт деятельности компании SiemensAG (Германия), которая активно применяет эти технологии для производства высокоэффективных металлических изделий. Одним из примеров таких изделий – горелки для сверхмощной газовой турбины, успешно эксплуатируемой на электростанции в Брно (Чехия). Другой пример – лопатки, установленные в промышленной газовой турбине. Эти лопатки изготовлены из сплава на основе никеля и способны выдерживать высокие давления, экстремальные температуры и центробежные силы, возникающие во время работы турбины (рисунок 5.15). Их конструкция имела внутреннюю систему охлаждения сложной геометрии.

К числу AM-технологий, позволяющих печатать металлами, относятся технологии, основанные на экструзии легкоплавких металлов, например, свинца или олова (эти технологии также позволяют работать и с пластиками). Однако изделия из таких металлов обладают низкой прочностью.



Рисунок 5.15 - Лопатка газовой турбины, созданная по SLM-технологии

В одном из вариантов AM-технологии, основанной на экструзии волокон, предлагается использовать волокна, состоящие из стального порошка (80% вес.) и полимерного связующего (рисунок 5.16). В ходе экструзии создается изделие из металлополимерного композита. При последующей термообработке изделия полимер удаляется, а образовавшийся пористый металлический каркас дополнительно спекается (по аналогии с IMLS-технологией).

Печатать металлические изделия также позволяет один из вариантов LOM-технологии, в котором для построения изделий используется тонкая алюминиевая фольга, она вырезается по контуру слой за слоем и затем слои соединяются с помощью ультразвуковых воздействий.

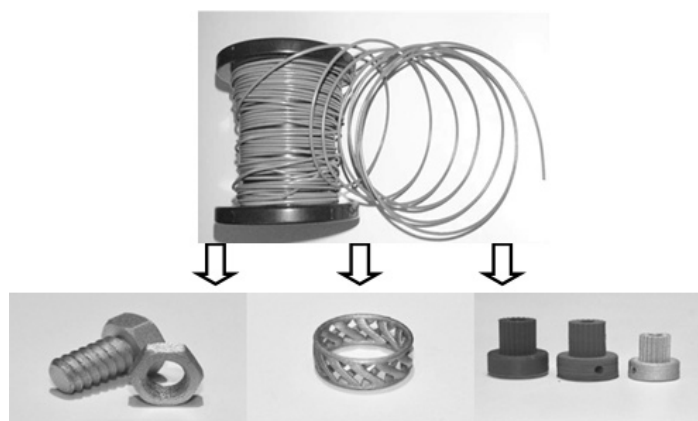


Рисунок 5.16 - Детали, изготовленные по АМ-технологии, основанной на экструзии металлополимерных волокон

Пластмассовые детали

В промышленном оборудовании, а также в бытовых устройствах металлические детали активно заменяются пластмассовыми аналогами, многие из которых: шестерни, валы, шкивы, защелки, заглушки, корпуса, разъемы и т.д. можно весьма эффективно изготавливать с помощью АМ-технологий. На рисунке 5.17 показаны в качестве примера пластмассовые детали стеклоочистителя заднего стекла автомобиля, созданные из полиамида с использованием SLS-технологии.

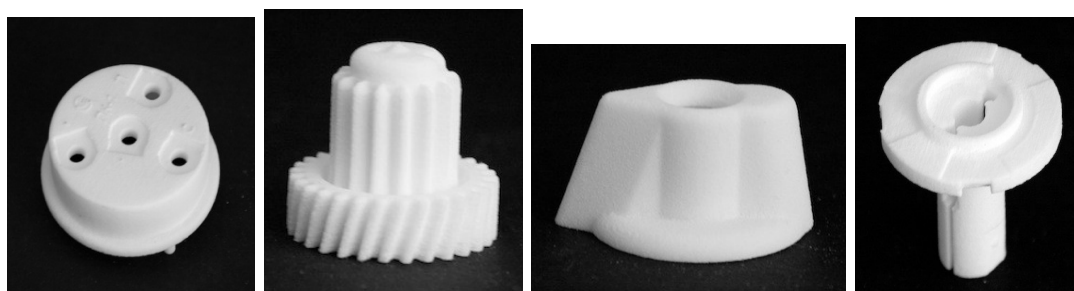


Рисунок 5.17 - Пластмассовые детали автомобиля, созданные на 3D-принтере

Для создания деталей ответственных конструкции служат технологии 3D-печати термостойких пластиков. Наиболее подходящими для таких целей являются пластики типа PPSF и ULTEM, из которых изготавливаются детали, применяемые аэрокосмической отрасли. Так, в России (БГТУ «ВОЕНМЕХ» с ООО «Современное оборудование») осуществлялась 3D-печать ряда деталей малоразмерного газотурбинного двигателя для беспилотных летательных аппаратов. В частности, с помощью FDM-технологии изготавливались крышки и колесо компрессора, диффузор, а также корпус камеры сгорания (все из термостойкого пластика) (рисунок 5.18).



Рисунок 5.18 - Детали из термостойких пластиков, изготовленные с помощью FDM-технологии

Непрямое изготовление деталей

При прямом изготовлении предполагается, что сначала в результате реализации АМ-технологии создается формообразующая оснастка, с помощью которой затем получают готовую деталь, используя другие известные технологии.

Литейная и штамповая оснастка. Для получения деталей путем литья или штамповки требуется специальная формообразующая оснастка. Однако стоимость такой оснастки, создаваемой с использованием традиционных технологий, как правило, во много раз превышает стоимость изготавливаемой с ее помощью детали, а на ее создание затрачивается довольно большое время. Для снижения стоимости оснастки, ускорения и, по возможности, автоматизации процесса ее создания перспективно применять АМ-технологии.

Ниже рассмотрены некоторые наиболее типичные примеры применения АМ-технологий в литейном производстве.

Для того чтобы получить единичную металлическую литую деталь, сначала с помощью 3D-принтера изготавливается литейная модель детали, на которую затем наносится керамическая оболочка. В эту оболочку заливается расплавленный металл и формируется готовая литая деталь (при этом литейная модель выжигается или выплавляется) (рисунок 5.19).

Выжигаемые модели получают из полистирола (SLS-технология), полиметилметакрилата (Ink-Jet-технология), фотополимеров (SLA-технология). Выплавляемые модели получают из модельного материала на основе литейного воска с фотополимерным связующим (МММ-технология). Также выплавляемые модели можно получать из ПВХ-пленок по LOM-технологии. На рисунке 5.20 и 5.21 показаны примеры литых алюминиевых деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС), изготовленных с использованием АМ-моделей.

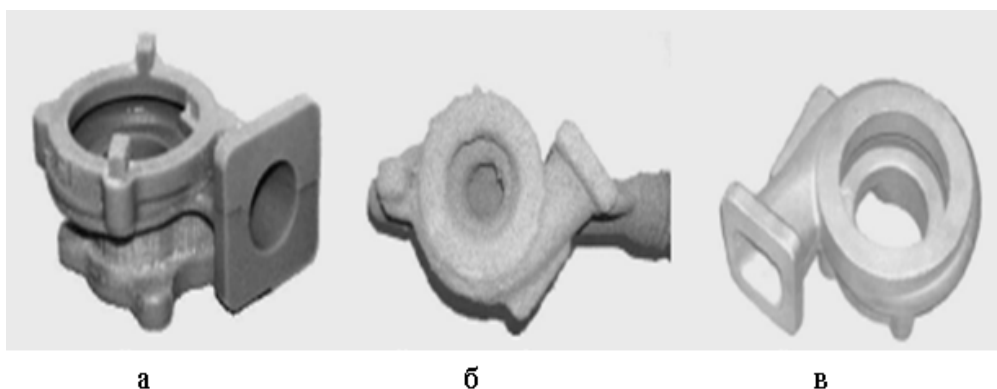


Рисунок 5.19 - Основные стадии получения литой детали с помощью АМ-технологий
 а – АМ-модель, б – керамическая оболочка, в – металлическая отливка



Рисунок 5.20 - Головка цилиндра ДВС: SLS-модель (слева) и отливка

Для того чтобы получить небольшую партию литых металлических деталей, с помощью 3D-принтера изготавливается прототип детали (мастер-модель) из какого-либо материала, который затем заливается силиконом. После застывания силикона образуется эластичная форма, которая разрезается на две половинки. В полученную разъемную форму заливается литевой воск, в результате чего получается литейная модель. Такую форму можно использовать многократно. Обычно данный способ литья применяют для получения 20-50 литых деталей.



Рисунок 5.21 - Передняя крышка ДВС: SLA-модель (слева) и отливка

AM-технологии применяются для изготовления песчаных литейных форм. Их получают с помощью SLS-технологии из литейного (силикатного или циркониевого) песка, плакированного полимером, играющим роль связующего (рисунок 5.22), или с помощью Ink-Jet-технологии, когда связующее вещество подается каплями на последовательно формируемые слои песка (рисунок 5.23).



Рисунок 5.22 - Песчано-полимерная форма, полученная по SLS-технологии



Рисунок 5.23 - Песчано-полимерная форма, полученная по Ink-Jet-технологии

AM-технологии позволяют создавать непосредственно металлическую оснастку. Пример тому – деятельность компании InssTek (Южная Корея), которая производит пресс-формы из стали и никель-молибденовых сплавов с помощью DMT-технологии. Пресс-формы предназначены для литья алюминиевых головки блоков цилиндров двигателя.

Используя DMD-технологию, за счет варьирования состава осаждаемых металлических порошков, можно получать пресс-формы, в которых рабочая поверхность выполнена из инструментальной стали, а конформные каналы охлаждения – из меди, причем сталь плавно переходит в медь. Такие пресс-формы дают возможность существенно сократить время охлаждения детали при литье.

С помощью АМ-технологий также создают непосредственно пластиковые пресс-формы для инъекционного литья пластиков, а также для вакуумной формовки. Пресс-формы получают из температуростойких пластиков с добавками керамического порошка с использованием технологии MOVINGLIGHT (затвердевание фотополимеров под действием ультрафиолетового излучения, создаваемого проектором). С помощью таких пресс-форм можно получать отливки из полипропилена, полиэтилена, полистирола, полиамида, АБС-пластика и т.п.

Электроды-инструменты

Применение копирувально-прошивных электроэрозионных станков сдерживается ограниченными технологическими возможностями изготовления сложнопрофильных электродов-инструментов (ЭИ) цельной конструкции. При традиционном изготовлении их конструкция разделяется на элементарные участки, каждый участок изготавливается по отдельности, а затем они собираются в один инструмент. Изготовление сложнопрофильных ЭИ существенно упрощается благодаря применению АМ-технологий.

Так, сначала с помощью SLA-технологии создается прототип ЭИ, на основе которого затем формируется модельный комплект из литейного воска. Далее по обычной литейной технологии получается отливка ЭИ. Другой путь получения ЭИ – создание заготовки ЭИ с помощью SLA-технологии и последующее нанесение на нее токопроводящего покрытия – как в рабочей зоне, так и в зоне подвода электрического тока. Кроме того, возможно прямое изготовление ЭИ – на основе SLM-технологии. С помощью АМ-технологий можно создавать медные ЭИ с микроэлементами на рабочей поверхности, что позволяет их использовать для микроэлектроэрозионной обработки.

Режущие инструменты

АМ-технологии, позволяют получать высокоэффективные режущие инструменты, которые невозможно создавать с помощью традиционных технологий. В частности, SLM-технологии дают возможность получать режущий инструмент, прочный снаружи и пластичный внутри. Также с их помощью можно выборочно задавать параметры определенных участков детали с последующей закалкой их поверхности, формируя при этом внутреннюю часть в виде ячеек или сот. Кроме того, в инструменте, изготовленном по SLM-технологии, можно формировать спиральный канал для подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), что позволяет более эффективно охлаждать его.

По мнению специалистов компании «Komet Group» (Германия), с помощью АМ-технологий можно воспроизводить любую по сложности геометрию режущего инструмента. Так, эта компания на основе использования АМ-технологий освоила производство фрез, в которых

можно располагать большее количество режущих зубьев с оптимизированной геометрией. При этом скорость подачи таких инструментов, в частности, концевых и торцевых фрез увеличилась на 50 %. Более того, внутри корпуса режущей головки стало возможным формировать каналы с оптимизированным поперечным сечением для подвода СОЖ в требуемых местах без снижения прочности фрез и с максимальным эффектом их охлаждения. Различные виды фрез, выпускаемых компанией «Kommet Group» с помощью АМ-технологий, показаны на рисунке 5.24.



Рисунок 5.24 - Фрезы, полученные с помощью АМ-технологий

Еще один пример успешного применения АМ-технологий для изготовления режущих инструментов – деятельность компании Maral (Германия), которая, выпускает необычные по конструкции сверла по гибридной технологии: хвостовик инструмента обрабатывается традиционным способом, а режущая часть – с помощью SLM-технологии (рисунок 5.25).



Рисунок 5.25 - Сверло, полученное с помощью АМ-технологий

Преимуществом таких сверл является их принципиально новая геометрия, улучшающая их рабочие характеристики. Основная их особенность состоит в том, что канал подвода СОЖ в них имеет спиральную форму сравнению с центральным каналом в традиционн

изготавливаемых сверлах, что повышает эффективность охлаждения за счет ускорения потока СОЖ. Кроме того, спиралевидный канал охлаждения проходит параллельно винтовой канавке, улучшая стабильность центральной части сверла. Более эффективному охлаждению также способствует профиль канала, который вместо круглой формы имеет слегка треугольную форму, что вызывает повышение скорости потока.

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности интегрированных технологий резки материалов.
2. Что представляет собой анодно-механическая резка?
3. Что представляет собой электроконтактно-абразивная резка?
4. Что представляет собой электроэрозионно-химическая резка?
5. Что представляет собой электрохимическая абразивная резка?
6. Что представляет собой гидроабразивная резка?
7. Что представляет собой электроконтактно-абразивная резка?
8. Назовите разновидности интегрированных технологий финишной обработки поверхности материалов.
9. Что представляет собой анодно-абразивная обработка?
10. Что представляет собой анодно-механическое хонингование?
11. Что представляет собой антифрикционная электромеханическая обработка?
12. Приведите примеры прямого изготовления металлических деталей машин с помощью аддитивных технологий.
13. Приведите примеры прямого изготовления пластмассовых деталей машин с помощью аддитивных технологий.
14. Приведите примеры применения аддитивных технологий для изготовления технологической оснастки.
15. Приведите примеры применения аддитивных технологий для изготовления обрабатывающих инструментов.

ГЛАВА 6 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

6.1 Лазерная очистка

Технология лазерной очистки применяется для удаления с металлических поверхностей деталей окалины, продуктов коррозии, лакокрасочных, масляных и других загрязнений. Физические процессы, происходящие при лазерной очистке, в значительной мере зависят от плотности мощности лазерного излучения на поверхности.

Существует два основных механизма лазерной очистки: испарительный и ударно-механический.

В случае реализации испарительного механизма очистки, лазерный луч, попадая на загрязненную поверхность, проходит сквозь загрязнение и поглощается в приповерхностном слое материала детали (рисунок 6.1, а). При этом плотность мощности лазерного излучения должна быть достаточной для того, чтобы нагреть материал до температуры кипения на границе раздела загрязнение – очищаемый материал, когда начинается испарение материал (рисунок 6.1, б). Под давлением сильно разогретых паров слой загрязнения разрушается и удаляется с поверхности детали (рисунок 6.1, в).

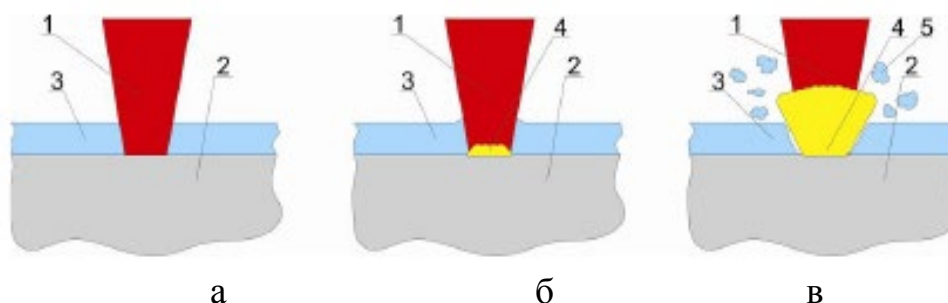


Рисунок 6.1 - Испарительный механизм лазерной очистки

1 – лазерный пучок, 2 – загрязненный материал, 3 – загрязнение, 4 – облако испаренного вещества, 5 – частицы загрязнения, удаленные с поверхности материала

Под действием лазерного излучения может также иметь место специфический механизм абляции (удаления) вещества, когда при поглощении излучения происходит разрыв связей в молекулах и вещество удаляется в виде плазмы.

Как правило, для реализации испарительного механизма лазерной очистки требуются весьма высокие температуры, так что часть значительная тепла переходит в приповерхностный слой очищаемого материала. Это может привести к его поверхностному плавлению или испарению, инициированию химических реакций в приповерхностном

слое (например, окислению, разложению), механическому повреждению (например, образованию трещин или сколов). Кроме того, при высоких температурах вещество загрязнения может вжигаться в поверхностный слой очищаемого материала.

Для уменьшения теплового воздействия на поверхностный слой очищаемого материала и тем самым предотвращения его разрушения используются низкоэнергетические доиспарительные режимы лазерной очистки (рисунок 6.2). При этом реализуется ударно-механический механизм очистки, связанный с быстрым тепловым расширением слоя загрязнения или поверхностного слоя очищаемого материала при поглощении лазерного излучения, вызывающего ударную волну и, соответственно, взрывное удаление имеющихся газов и образующихся паров (рисунок 6.2).

Различают сухую и влажную лазерную очистку. В первом случае излучение воздействует непосредственно на очищаемую поверхность. При этом происходит быстрое тепловое расширение приповерхностного слоя очищаемого материала и удаляемого загрязнения под действием коротких импульсов излучения, которое приводит к возникновению механических напряжений в загрязняющем слое и инерционной силы при прекращении импульса. Во втором случае излучение воздействует на поверхность, предварительно покрытую тонким слоем жидкости. При этом жидкость нагревается выше температуры ее кипения при нормальном давлении, так что инициируется объемное (пузырьковое) кипение. При импульсном излучении после прекращения очередного импульса пузырьки уменьшаются в размере и захлопываются, что приводит к возникновению ударной волны в жидкости, вызывающей разрушение слоя загрязнения и выброс жидкости и образующихся продуктов очистки.

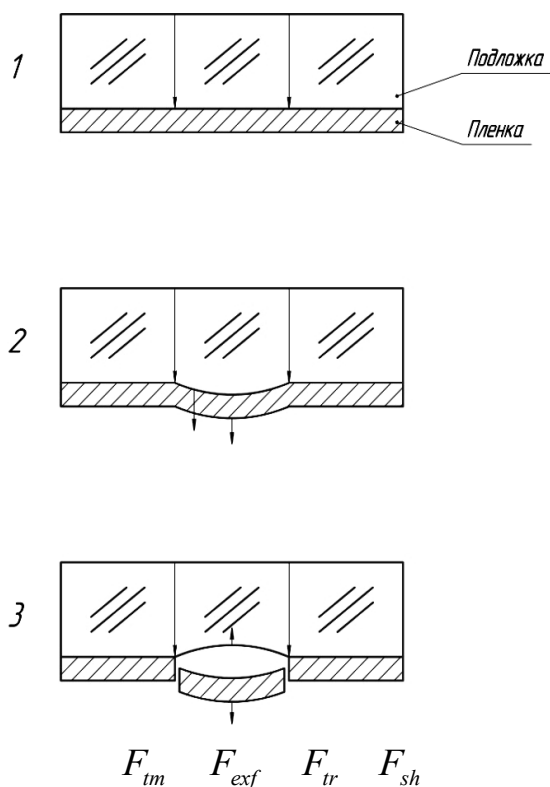
Технология лазерной очистки имеет ряд достоинств, она является бесконтактной, высокопроизводительной, экологически чистой. Однако до недавнего времени ее применение ограничивалось высокой стоимостью лазеров, их недостаточной надежностью и низким значением КПД. Широкому распространению лазерной очистки способствовало появление волоконных лазеров, чей срок службы и надежность, высокий КПД, стабильность параметров и удобство использования обеспечивают их высокую окупаемость, включая издержки на приобретение и эксплуатацию.

Следует также отметить высокую технологическую воспроизводимость лазерной очистки, которая обусловлена тем, лазерный луч представляет собой особый инструмент, который в отличие от, например, механических очистных щеток не «засаливается», не «тупится», не изнашивается и т.п.

Ниже приведены примеры применения технологии лазерной очистки, свидетельствующие о ее высокой эффективности.

Для удаления масляных загрязнений с металлических поверхностей, в частности перед нанесением на них упрочняющих или защитных покрытий, традиционно применяют химическую очистку. Такая очистка проводится с использованием кислотных и щелочных ванн, что существенно осложняет экологическую ситуацию на предприятиях, выполняющих очистные работы.

I. Термомеханические механизмы разрыва пленок

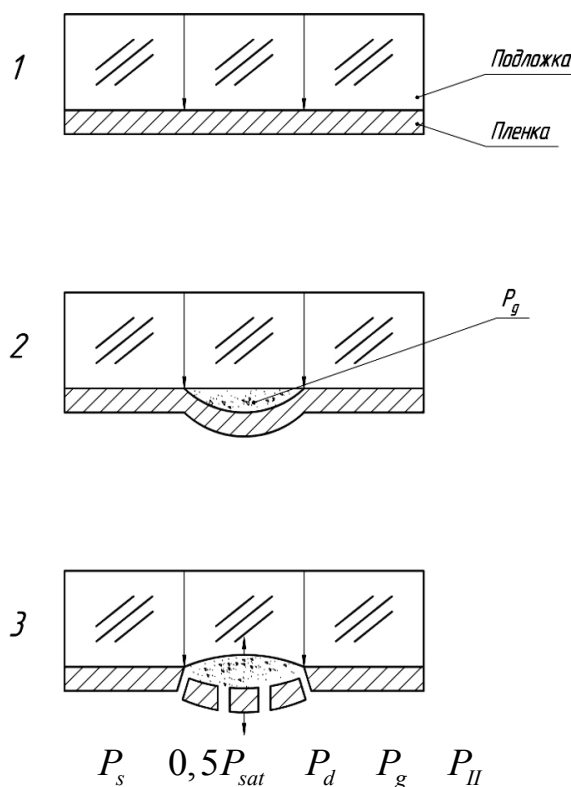


F_{exf} – сила, вызванная секущим разломом пленки под воздействием продольного термического расширения;

F_{tr} – сила, вызванная секущим термическим расширением пленки;

F_{sh} – сила, вызванная колебанием пленки при движении поверхности подложки под действием их теплового расширения

II. Взрывные механизмы разрыва пленок за счет избыточного парового давления



P_{sat} – давление насыщенных паров при T (большое для дефекта поверхности);

P_d – давление выделяющихся молекул газа (большое для грязной поверхности);

P_g – давление вследствие газификации (испарение, разложение) подложки (промежуточного слоя) и материала (пластик и т.д.);

P_{II} – давление паров искусственного низкоиспаряемого жидкого слоя (нагретого от подложки)

Рисунок 6.2 - Доиспарительные низкоэнергетические механизмы лазерной очистки

Гораздо эффективнее можно удалять масляные загрязнения с помощью лазеров, как это показано на рисунке 6.3 (для очистки использовался волоконный лазер со следующими параметрами: мощность 50 Вт, частота импульсов 100 кГц, диаметр луча в зоне обработки 0,1 мм; производительность обработки 100 м²/ч).

Для удаления окалины, ржавчины и солевых отложений с металлических поверхностей обычно применяют пескоструйную обработку. Такой способ очистки является энергозатратным. Кроме того, его применение сопряжено с экологическими проблемами, поскольку приходится решать задачи по утилизации больших объемов отработанного расходного материала – песка.



Рисунок 6.3 - Лазерная очистка стальной полосы от масляной пленки (слева–очищенная часть)

Указанных недостатков лишена лазерная очистка, которую особенно эффективно применять для очистки поверхностей, труднодоступных для обработки другими известными способами, например, внутренних поверхностей трубопроводов различных устройств (насосов, компрессоров, теплообменников и т.п.). Например, очистка внутренних поверхностей латунных труб теплообменников с малым внутренним диаметром (20-30 мм) механическими способами приводит к уменьшению толщины стенок труб, так что после 2-3-х процедур очистки требуется их замена. Эффективным решением такой проблемы является применение лазерной очистки (рис. 6.4).

Подобной проблемой, успешно решаемой с помощью лазера, является очистка сетчатых фильтров. Благодаря использованию лазерной обработки загрязнения эффективно удаляются не только с поверхности, но и из внутреннего объема каналов фильтра (рисунок 6.5).

Еще одной проблемой, успешно решаемой с помощью лазера, является очистка сложнопрофильных поверхностей, например, резьбовых. После нарезания резьбы на ее поверхности сохраняются остаток СОЖ, а также другие загрязнения, которые препятствуют получению высокого значения адгезии наносимых в последующем покрытий. Используя лазерную очистку, можно получить энергетически активированную поверхность, близкую к ювенильной (рисунок 6.6), что повышает адгезию наносимого покрытия с поверхностью резьбы. Процесс лазерной очистки поверхности резьбы является весьма

высокопроизводительным: время очистки резьбы трубы с условным диаметром 73 мм и длиной поверхности резьбы 110 мм составляет 5 сек.

Весьма перспективно проводить лазерную очистку поверхностей в «полевых» условиях. Пример тому – лазерная очистка от ржавчины стыков блоков пролетных строений под фрикционные соединения при сборке ферм мостов, которую проводили с помощью специального разработанного лазерного оборудования в мобильном исполнении (рисунок 6.7). Производительность очистки составляла 3-5 м²/ч, чистота поверхности соответствовала международному стандарту ISO SA 2,5. Коэффициент трения фрикционных соединений, подготовленных для сборки с применением лазерной очистки, был в 1,5 раза выше, чем при пескоструйной очистке, что обеспечивало большую надежность таких соединений. Важно отметить, что удаляемый при лазерной очистке слой ржавчины толщиной 100 мкм практически не оказывал влияния на экологическую обстановку, поскольку по объему он был приблизительно в 100 раз меньше, чем отходы песка при пескоструйной очистке.

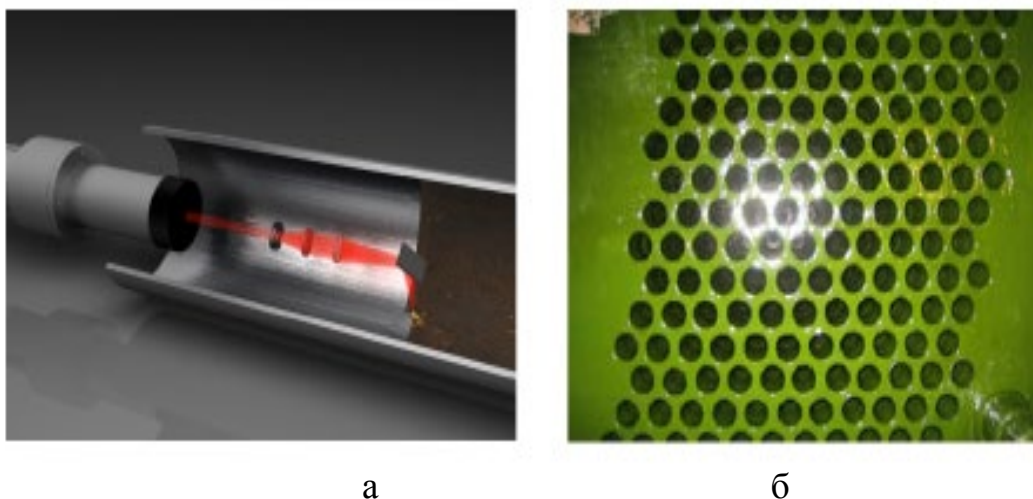


Рисунок 6.4 - Лазерная очистка от солевых отложений внутренних поверхностей труб теплообменников:
а – схема очистки, б – вид теплообменника

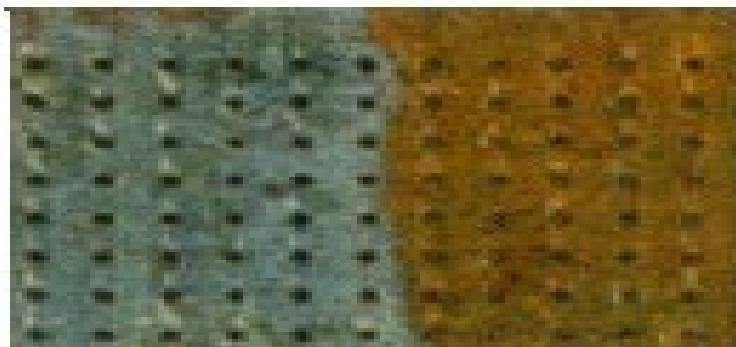


Рисунок 6.5 - Лазерная очистка каналов сетчатого фильтра

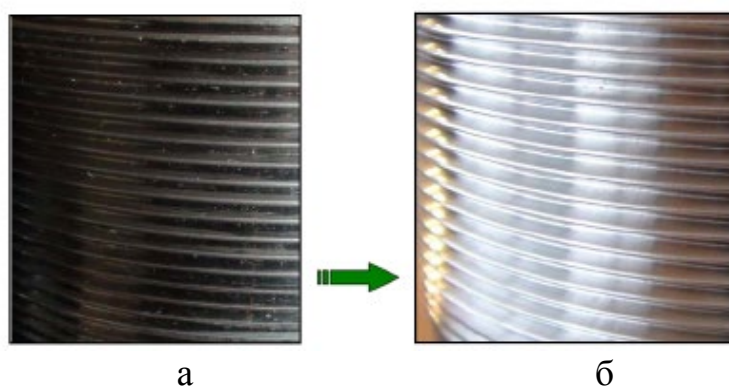
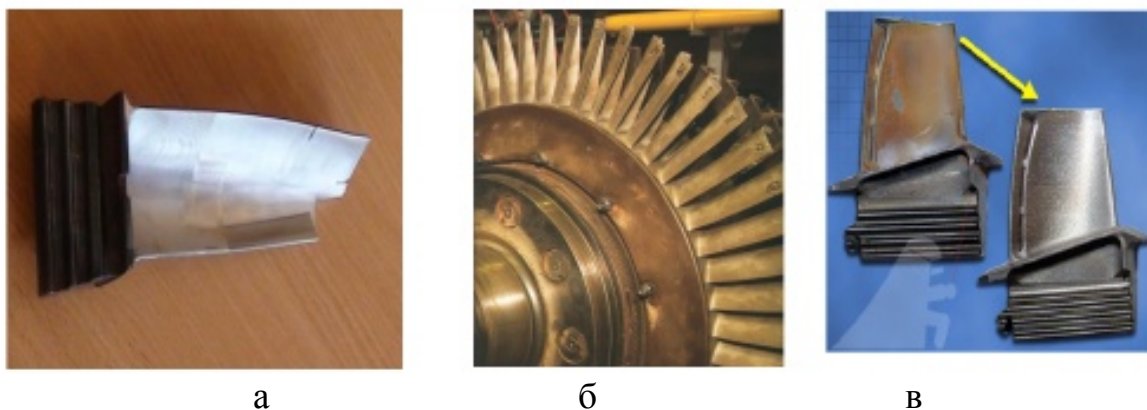


Рисунок 6.6 - Лазерная очистка поверхности резьб труб
 а – поверхность резьбы до очистки, б – поверхность резьбы после лазерной очистки

Важным преимуществом применения мобильных лазерных установок является возможность проводить очистку деталей без их демонтажа, что существенно сокращает время выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту машин. На рис. 6.8 показано в качестве примера применение мобильных лазерных установок для удаления окисных пленок с поверхности пера лопатки газовой турбины, которое можно проводить без демонтажа лопатки.



Рисунок 6.7 - Лазерная очистка стыков от ржавчины ферм моста
 а – мобильный лазер, б – ферма моста, в – поверхность до очистки, г – поверхность после очистки



а

б

в

Рисунок 6.8 - Лазерная очистка турбинных лопаток от загрязнений:
а – очищенная лопатка, б – ротор турбины в сборе, в – лопатки до и после очистки

Одним из распространенных направлений применения лазерной очистки является удаление старых поврежденных покрытий.

Так, элементы запорной аппаратуры, например, шаровые краны в процессе эксплуатации подвергается абразивному износу, в результате чего на их поверхности появляются задиры и царапины, что приводит к повреждению защитных гальванических покрытий. Во время ремонта шаров такие покрытия необходимо удалять и наносить вместо них новые. Обычно удаление покрытий проводят путем электрохимического травления. Однако при этом неизбежно происходит травление материала шара, вызывающее недопустимые изменения геометрических характеристик всего изделия. Благодаря лазерной очистке можно селективно удалять старое покрытие с поверхности шара с сохранением его размеров.

Аналогичным образом, используя лазеры, осуществляются лакокрасочные покрытия. Особенно эффективно проводить такую очистку с помощью специальных роботизированных установок для лазерной очистки.

6.2 Плазменная очистка

Существует два вида технологий плазменной очистки поверхностей, в основе которых лежат физические и химические процессы обработки (рисунок 6.9). Также возможен вариант комплексной обработки, который сочетает в себе и физическую, и химическую обработку.

Для проведения плазменной физической обработки обычно используются нейтральные газы, например, аргон. При этом ионы газа, обладающие высокой кинетической энергией, передают ее молекулам на поверхности обрабатываемого материала, в результате чего загрязнения «выбиваются» с поверхности.

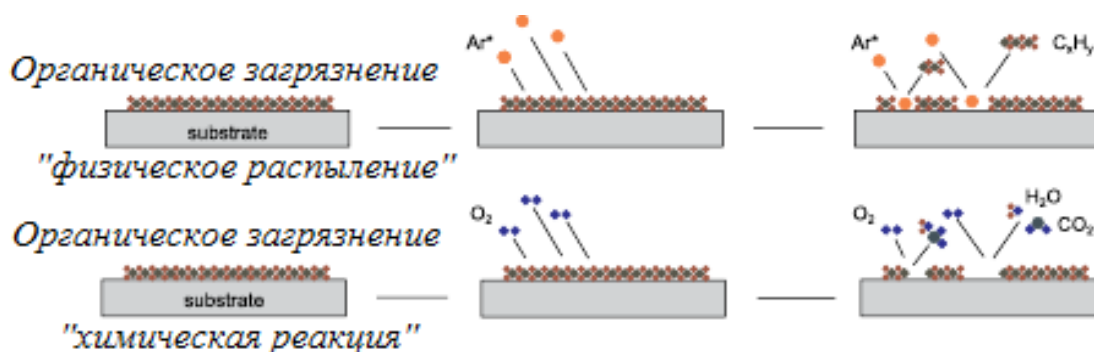


Рисунок 6.9 - Виды плазменной очистки поверхностей

В случае химической обработке ионы газа вступают в реакцию с органическими соединениями на поверхности обрабатываемого материала. Для проведения такой обработки обычно используются активные газы, такие как кислород и водород.

По сравнению с другими технологиями очистки поверхностей плазменная очистка обладает рядом преимуществ, в частности, высокой эффективностью очистки, в том числе возможностью удаления загрязнений в малейших трещинах; низкой температурой процесса, универсальность (с помощью плазмы можно очищать поверхности разнообразных материалов).

Для удаления загрязнений с поверхности металлических насоснокомпрессорных труб перед их диагностикой и ремонтом разработан способ плазменной очистки, основанной на высокотемпературном воздействии высокоскоростными струями плазмы из факельных плазмотронов на частицы грязи с последующим их сдуванием (испарением или сублимацией) с поверхности плазменной струей.

Такая очистка осуществляется наиболее эффективно, когда струя плазмы воздействует на обрабатываемую поверхность под косым углом. При кратковременном воздействии плазмы на поверхность происходит плавление и интенсивная газификация асфальтосмолопарафиновых отложений. За счет теплового удара растрескиваются и отделяются от очищаемой поверхности минеральные отложения и корки оксидов. Образующиеся в результате плазменной обработки загрязнений газообразные, а также аэрозольные и пылевидные продукты удаляются плазменными струями с очищаемой поверхности и поступают через газовод, снабженный фильтрами и системой охлаждения, в сборник отходов очистки. Поскольку процесс очистки протекает довольно быстро, то материал трубы не успевает нагреться до высоких температур (обычно его нагрев не превышает 350°C).

Разработанный способ плазменной очистки позволяет удалять загрязнения как с наружной (рисунок 6.10), так и с внутренней (рисунок 6.11) поверхности труб. В последнем случае в трубу вводят струйный плазматрон, закрепленный на штанге. По мере движения плазматрона

внутри трубы за счет взаимодействия плазменной струи с внутренними стенками с них испаряются остатки асфальтосмолопарафиновых отложений, которые затем сгорают в полости трубы. Для обеспечения полного сгорания углеводородов, в трубу подают сжатый воздух или кислород. При этом продукты полного сгорания из свободного конца трубы (рисунок 6.12) поступают в газовод и далее в сборник отходов очистки.



Рисунок 6.10 - Очистка наружной поверхности НКТ струей плазмы



Рисунок 6.11 - Плазматрон внутренней очистки вводят в трубу на всю ее длину



Рисунок 6.12 - Продукты полного сгорания истекают из трубы в охлаждаемый газовод (газовод снят)

В работе предложен эффективный способ очистки металлических поверхностей в парогазовом разряде, который обеспечивает высокопроизводительную и качественную очистку поверхности деталей от практически любых загрязнений – минеральных и органических консервационных смазок, ржавчины, окалины, остатков старых гальванических и лакокрасочных покрытий, эмалевой изоляции с электропроводов. О высоком качестве очистки позволяют судить фотографии поверхности пластин стали до и после очистки, представленные на рисунке 6.13.

6.3 Термоабразивная очистка

Сущность технологии термоабразивной очистки заключается в обработке очищаемой поверхности высокотемпературной сверхзвуковой газовой струей, несущей частицы абразивного материала. Она аналогична обычной струйно-абразивной (пескоструйной) обработке, главное ее отличие состоит в температуре и скорости газового потока, характерные значения которых в выходном сечении разгонного канала составляют 1250 м/с и 1200°С (и выше) соответственно. Абразивные частицы могут иметь скорость от 100 до 300 м/с в зависимости от их размеров и материала, что в 2,5-3,5 раза больше скорости частиц при обычной струйно-абразивной обработке (энергия соударения с поверхностью соответственно больше в 6-10 раз).

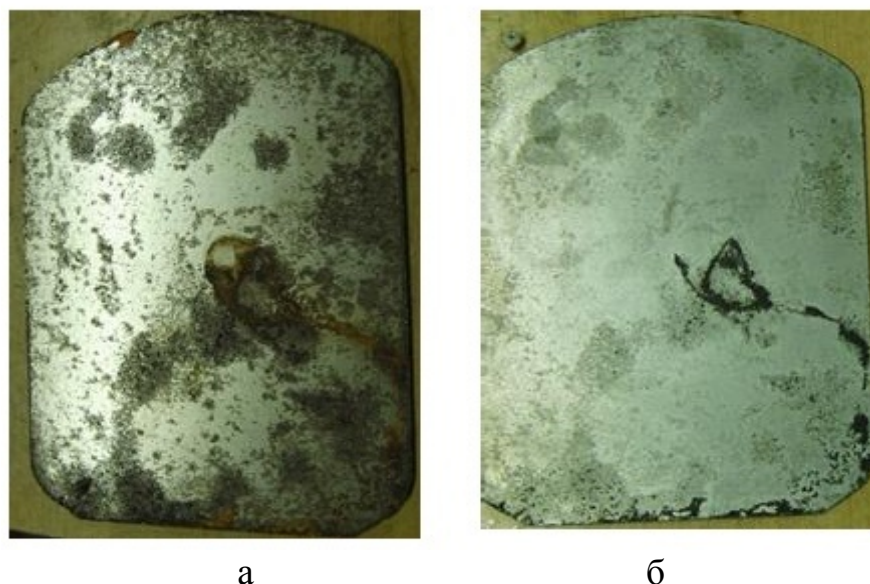


Рисунок 6.13 - Поверхности пластин стали до (а) и после (б) обработки

С помощью технологии термоабразивной очистки можно эффективно удалять с поверхности продукты коррозии и старые лакокрасочные покрытия, соли, битумные покрытия любой сложности и толщины, проводить обезжиривание, обеспыливание и активация

поверхности. При этом чистота поверхности соответствовала международному стандарту ISO SA 2,5.

Кроме того, в процессе термоабразивной очистки задается необходимая шероховатость поверхности, которая, как правило, находится в диапазоне значений Rz20-Rz80. После термоабразивной очистки поверхность становится равномерно подогретой до температуры 50-60°C и химически активной.

6.4 Криогенный бластинг

Технология криогенного бластинга является разновидностью технологий обычной струйно-абразивной очистки и отличается тем, что в качестве абразивного агента используется сухой лед – твердая фаза диоксида углерода.

В аппарате для струйной очистки с помощью сжатого воздуха гранулы сухого льда размером до 3 мм разгоняются до скорости, близкой к скорости звука, и специальным пистолетом подаются на очищаемую поверхность. Поверхность очищается в результате реализации нескольких эффектов. Во-первых, гранулы имеют значительно более низкую температуру, чем очищаемая поверхность (температура сублимации сухого льда при нормальном давлении равна 78,5°C). Резкое охлаждение слоя загрязнений вызывает его переход в хрупкое состояние, благодаря чему загрязнения легко отслаиваются от поверхности. Во-вторых, при соударении с очищаемой поверхностью гранул сильно нагреваются, диоксид углерода переходит в газообразное состояние. Образовавшийся газ, проникая в пространство между слоем загрязнений и очищаемой поверхностью, образует так называемый «газовый клин», отслаивающий фрагменты загрязнений от поверхности. В-третьих, за счет большой кинетической энергии гранулы оказывают механическое воздействие на очищаемую поверхность.

Используя технологию криогенного бластинга можно очищать поверхности от ржавчины, краски, масляных загрязнений, сажи, нагара и шлака.

При помощи данной технологии успешно удаляют загрязнения от масла, бензина, токсичных остатков, сажи, нагара и шлака.

К преимуществам этой технологии относятся:

- высокая скорость и экономичность очистки;
- низкая твердость гранул сухого льда и, как следствие, отсутствие их абразивного воздействия на очищаемую поверхность, что исключает ее механические повреждения и структурные изменения;
- безопасность для человека и окружающей среды (очистка проводится без применения химикатов, взрывоопасных или пожароопасных моющих веществ; отсутствуют вторичные отходы, поскольку не требуется удалять загрязненную воду или абразивный материал).

Примером успешного применения криогенного бластинга является очистка деталей дизельной установки локомотива, отправленного на капитальный ремонт (рисунок 6.14). Очистку проводили гранулами сухого льда диаметром 8 мм при давлении 0,5 МПа. В результате очистки было достигнуто удаление нагара с головки двигателя и оси.

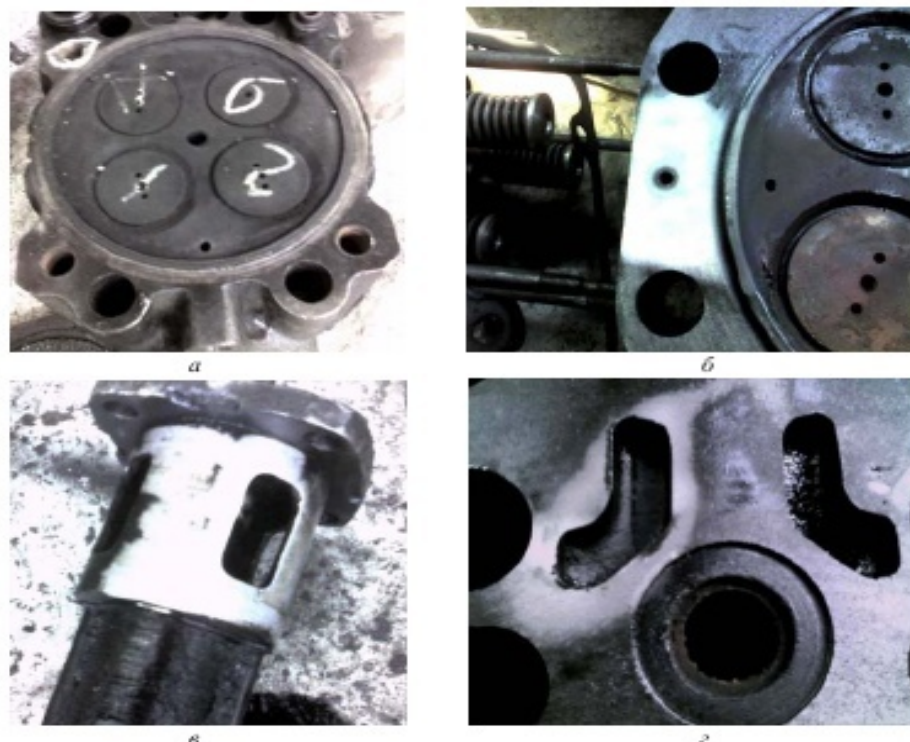


Рисунок 6.14 - Примеры очистки поверхностей криогенным бластингом

а – поверхность перед очисткой; б – поверхность после обработки; в – очистка оси; г – очистка канала

6.5 Аэрогидродинамическая абразивная очистка

Сущность технологии аэрогидродинамической абразивной очистки заключается в обработке поверхностей гидроабразивной аэрозольной струей.

Из резервуара на обрабатываемую поверхность детали с помощью сверхзвукового сопла подают гидроабразивную суспензию сверхскоростной струей сжатого газа. В результате взаимодействия струи газа и гидроабразивной суспензии происходит газодинамическое распыление последней с образованием аэрозольных частиц, включающих в себя абразивные частицы. Скорость газа на выходе из сопла достигает до 500 м/с. При таких скоростях газового потока обеспечивается дробление суспензии на мелкие водяные капли, при этом внутри капель оказываются заключенными абразивные частицы размером от 300 нм до 40 мкм. В качестве абразивных частиц используются глина, мел, кварцевая пыль и др. Ударяясь о поверхность,

вода при контакте, вследствие проявления эффекта Ребиндера, уменьшает прочность обрабатываемой поверхности, после чего частица абразива механически разрушает загрязнение, а вода вымывает его фрагменты и уносит их вместе с использованным абразивом.

Рабочая жидкость (вода) не только обеспечивает транспортировку абразивных частиц от расходной емкости до обрабатываемой поверхности и непрерывно очищает обрабатываемую поверхность, удаляя отработавшие абразивные частицы и частички снятого загрязнения, но также исключает образование пыли, регулирует тепловой режим в зоне обработки, позволяет собирать отходы от очистки и использовать рабочую смесь повторно.

С уменьшением размеров капель суспензии увеличиваются их удельная поверхность и, соответственно, их количество в единице объема потока. Это приводит к повышению эффективности очистки.

Для повышения устойчивости суспензий в рабочую жидкость (воду) добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ) с концентрацией 2-5%, которые, наряду с эффектом очистки, позволяют проводить мойку поверхности, а также антикоррозионную обработку (при наличии в составе ПАВ ингибитора, предотвращающего коррозию очищаемых поверхностей).

С повышением скорости газовой струи до значения 500 м/с растет кинетическая энергия абразивных частиц, а также уменьшается время очистки. Однако дальнейшее повышение скорости газовой струи приводит к увеличению времени очистки, поскольку при высоких скоростях, превышающих 500 м/с, время контакта капель суспензии с поверхностью становится малым. Как следствие, абразивные частицы, находящиеся внутри капель, не успевают полностью преодолеть окружающую их пленку воды, что снижает эффективность очистки.

Наличие в суспензии частиц размером более 10 мкм ухудшает состояние поверхности и не способствует повышению эффективности очистки по сравнению с частицами диаметром менее 10 мкм.

С помощью аэрогидродинамической абразивной обработки можно очищать поверхности от нагара, окалины, ржавчины и других загрязнений.

Известен модифицированный вариант способа аэрогидродинамической абразивной очистки, согласно которому аэрозольный сверхзвуковой поток образуется ультразвуковым распылением гидроабразивной смеси и вращательным движением сжатого воздуха.

Этот способ реализуется с помощью установки, показанной на рисунке 6.15. В корпус 1 по патрубку 2 подается сжатый воздух, поток которого, приведенный во вращательное вокруг оси движение, поступает из камеры в сопло 5, протекая по которому стремится на выход 1 сопла. В сопле 5 за счет эжекции происходит засасывания смеси воды и твердых частиц через форсунку 4 шлангом 6. Вследствие

колебаний торца форсунки 4 от пьезокерамических преобразователей ультразвукового генератора 3 смесь получает продольные колебания определенной частоты и одновременно ее дробление с образованием аэрозольного факела 9, который направляется на обрабатываемую поверхность детали 10. При взаимодействии аэрозольного факела с деталью 10 его твердые частицы счет гашения своей кинетической энергии пластически деформируют и разрушают как поверхностные загрязнения, так и микронеровности на обработанной поверхности, воздух сдувает, а жидкая составляющая смывает загрязнения.

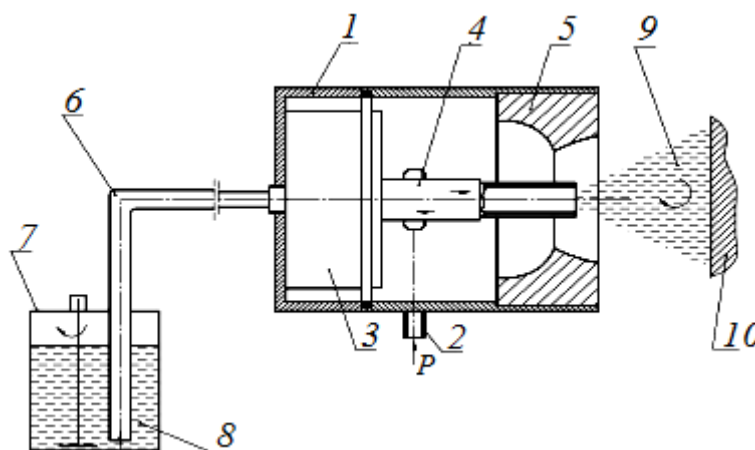


Рисунок 6.15 - Схема обработки поверхностей изделий аэрозольным потоком

6.6 Кавитационная очистка

Кавитационные моечно-очистные технологии характеризуются высокой производительностью и качеством очистки, и, кроме того, позволяют существенно уменьшить или полностью исключить применение моющих химических средств, обычно используемых в традиционных моечно-очистных технологиях. В результате кавитационной обработки поверхностей их можно очищать от масляно-грязевых и углеродистых загрязнений, накали, окалины, продуктов коррозии, старых лакокрасочных покрытий, шаржированных частиц.

Кавитация – это процесс образования в жидкости пузырьков (каверн, полостей), заполненных газом, паром или их смесью, и их последующего захлопывания. Различают гидродинамическую и акустическую кавитацию.

Гидродинамическая кавитация возникает в результате понижения давления в потоке жидкости, которое происходит при резком увеличении скорости потока. Акустическая кавитация возникает в результате понижения давления в жидкости, которое происходит при прохождении в жидкости высокоинтенсивной звуковой волны во время полупериода разрежения. Перемещаясь с потоком в область с

повышенным давлением (в случае гидродинамической кавитации) или во время полупериода сжатия (в случае акустической кавитации), пузырьки захлопываются. Для возбуждения гидродинамической кавитации служат гидродинамические излучатели, а для возбуждения акустической кавитации – электроакустические преобразователи-излучатели. В соответствии с двумя видами кавитации – гидродинамической и акустической, различают два вида кавитационной очистки – гидрокавитационную и акустико-кавитационную.

Кавитационная очистка может осуществляться по разным механизмам – в зависимости от свойств удаляемых загрязнений.

Решающую роль в удалении загрязнений играют микроударные волны, порождаемые захлопывающимися пузырьками. Они способны разрушать слои загрязнений, обладающие довольно высокой кавитационной стойкостью и прочно связанные с очищаемой поверхностью (нагар, окалина, смолистые отложения). Микроударные волны вызывают в нем развитие локальных напряжений, которые распределяются в слое весьма неравномерно. Это приводит к появлению в слое трещин, а также очагов эрозии, которые наблюдаются на поверхности слоя в виде точечных кратеров. По мере увеличения длительности микроударной обработки слой загрязнения во все большей мере подвергается диспергированию.

Загрязнения разрушаются под действием не только микроударных волн, но и кумулятивных микроструй, порождаемых захлопывающимися пузырьками. Кумулятивные микроструи разрушают загрязнения благодаря их большой кинетической энергии.

Захлопывающиеся пузырьки могут оказывать разрушающие воздействия на слой загрязнения как с его наружной части, так и изнутри – в результате проникания вместе с микропотоками жидкости в поры и трещины слоя или под отслоившееся участки слоя.

В разрушении загрязнений, наряду с захлопывающимися пузырьками, участвуют пульсирующие пузырьки. Они способны разрушать в основном слои загрязнений, обладающие низкой кавитационной стойкостью и слабо связанные с очищаемой поверхностью. Попадая под отслоившийся участок слоя, они, совершая интенсивные колебания, разрывают и отслаивают его. В тех случаях, когда загрязнение нанесено на поверхность в виде тонкого непрочного слоя, слабо связанного с поверхностью (например, это может быть тонкий грязевой слой), пульсирующие пузырьки могут вызывать селективное разрушение слоя по мере своего перемещения по поверхности, оставляя вслед за собой «расчищенные дорожки».

В случае акустической кавитации определенную роль в разрушении загрязнений играют радиационное давление и ультразвуковой капиллярный эффект, которые способствуют проникновению моющей жидкости в микропоры или микротрещины слоя загрязнения.

Процессы кавитационной очистки могут иметь те или иные особенности, обусловленные свойствами удаляемых загрязнений. Так, масляные загрязнения под действием кавитации могут подвергаться эмульгированию, масляно-грязевые – как эмульгированию (масляная фаза), так и диспергированию (грязевая фаза). Если загрязнения растворимы в моющей жидкости, то кавитация способствует их удалению за счет повышения скорости растворения. Если же загрязнения химически взаимодействуют с моющей жидкостью, то кавитация способствует их удалению за счет повышения скорости химических реакций (это имеет место при удалении загрязнений травлением).

Особым видом кавитационной очистки является абразивно-кавитационная очистка. Она применяется для повышения эрозионной активности кавитирующей моющей жидкости и осуществляется путем введения в нее тонкодисперсного абразивного материала.

Гидрокавитационная очистка

Эффективность гидрокавитационной очистки определяется конструкцией и техническими параметрами гидродинамических излучателей, которые представляют собой устройства, преобразующие часть энергии турбулентной струи моющей жидкости в энергию акустических колебаний.

Существуют различные по конструкции типы гидродинамических излучателей. Из них наиболее распространены излучатели с пластинчатыми, стержневыми и мембранными резонансными колебательными элементами, а также роторные излучатели.

Для гидрокавитационной очистки в качестве моющей жидкости можно применять обычную техническую воду, без добавления каких-либо химреактивов, а также без подогрева, что обусловлено высокими очищающими эффектами струйной кавитации. Вместе с тем находят применение и водные растворы различных моющих средств. Так, для очистки различных деталей от масляных загрязнений используется раствор NaOH. Для очистки деталей двигателей внутреннего сгорания от углеродистых загрязнений было предложено использовать синтетическое моющее средство Лабомид 101 (30 г/л), которое по своим моющим свойствам значительно превосходит растворы едкого натра и различных щелочных смесей.

Для усиления моющего действия жидкостей используются различные способы их модифицирования, такие как: подача в жидкость пара, ввод в жидкость специальных модифицирующих веществ (хорошо растворимых в жидкости веществ, твердых частиц, химически активных газов, реагирующих с жидкостью, нагрев жидкости).

Акустико-кавитационная очистка

Акустико-кавитационная очистка осуществляется с помощью УЗ моечно-очистного оборудования, основными узлами которого являются УЗ генератор, предназначенный для преобразования тока промышленной частоты в ток УЗ частоты, и УЗ колебательная система, обеспечивающая преобразование энергии электрических колебаний, поступающих от генератора, в энергию механических колебаний, усиление сформированных механических колебаний и их ввод в моющую жидкость. Непосредственно очистка проводится в рабочей емкости, заполняемой моющей жидкостью. Различают два типа УЗ моечно-очистного оборудования: УЗ ванны и погружные УЗ излучатели. Погружной УЗ излучатель, в отличие от УЗ ванны, не содержит в штатном комплекте специальной рабочей емкости, в процессе работы его погружают в любую подходящую емкость с моющей жидкостью. Различают модульные погружные излучатели и излучатели с погружными волноводами-концентраторами.

Одним из достоинств технологии акустико-кавитационной очистки является возможность использовать экологически безопасные моющие жидкости, которые хорошо растворяют соответствующие загрязнения, а также обладают физико-химическими параметрами, обуславливающими достижение повышенного разрушающего действия кавитации на загрязнения.

Выбор растворов для акустико-кавитационной очистки определяется характером подлежащих удалению загрязнений. Так, для удаления загрязнений, кавитационно нестойких и химически взаимодействующих с водными растворами (типа полировочной пасты) успешно применяются водные щелочные растворы с добавкой поверхностно-активных веществ. Для удаления жировых загрязнений и шлифовальных суспензий, содержащих масла, используют органические растворители.

Абразивно-кавитационная очистка

Абразивно-кавитационная обработка деталей машин является разновидностью технологий обработки свободным абразивом. Особенность ее состоит в том, что в ней проявляются совместно эффекты абразивного и кавитационного воздействия на обрабатываемый материал. В зависимости от механизмов развития кавитации различают абразивную гидрокавитационную очистку и абразивную акустико-кавитационную очистку.

Для осуществления абразивной гидрокавитационной очистки применяются моечные устройства с особой конструкцией сопла, позволяющего за счет гидродинамических эффектов захлопывания кавитационных пузырьков разгонять абразивные частицы в водном потоке до такой скорости, при которой обеспечивается разрушение загрязнений. При этом моющая жидкость должна подаваться под

достаточно большим давлением, что может быть обеспечено с помощью водяных насосов высокого давления.

По своему механизму абразивная акустико-кавитационная очистка подобна абразивной гидрокавитационной очистки. Она имеет место в том случае, когда в моющую жидкость, в которой развивается акустическая кавитация, вводятся тонкодисперсные абразивные частицы.

При этом загрязнения подвергаются разрушению под действием не только кавитации, но и абразивных частиц. Эти частицы, перемещающиеся под действием акустических течений, играют роль микрорежущих инструментов. Попадая в зону действия микроударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков, они приобретают высокие скорости и могут вызывать разрушение загрязнений за счет прямых ударов о поверхность.

В качестве абразивных материалов используются обладающие хорошими режущими свойствами синтетические алмазы, карбид бора, карбид кремния с размером частиц 3-20 мкм, концентрация которых в моющей жидкости составляет 30-60 об. %.

Контрольные вопросы

1. Дайте сравнительную характеристику технологий лазерной и плазменной очистки деталей машин от загрязнений.
2. Назовите два основных механизма лазерной очистки.
3. Чем различаются физические и химические процессы плазменной очистки?
4. Дайте сравнительную характеристику разных видов технологий абразивной очистки деталей машин от загрязнений.
5. В чем заключается сущность технологии термоабразивной очистки?
6. В чем заключается сущность технологии криогенного бластинга?
7. В чем заключается сущность технологии аэрогидродинамической абразивной очистки?
8. Что такое кавитация?
9. Каков механизм очистки деталей машин от загрязнений под действием кавитации?
10. Дайте сравнительную характеристику разных видов технологий кавитационной очистки деталей машин от загрязнений.

ГЛАВА 7 СМАЗОЧНЫЕ И ТОПЛИВНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

7.1 Смазочные наноматериалы

Постоянно возрастающие требования к качеству смазочных материалов приводят к необходимости совершенствования их состава, в частности, применения различных присадок, улучшающих их функциональные свойства. Одним из путей создания высокоэффективных присадок является использование принципов нанотехнологий, а именно, создание дисперсий наночастиц в моторных и трансмиссионных маслах, а также в пластичных смазках.

Важнейшая задача повышения качества смазочных материалов – обеспечение снижения износа деталей машин.

Износ деталей в узлах трения является одной из наиболее распространенных причин нарушения режима нормального функционирования и, в конечном итоге, выхода из строя машин. Для снижения износа используются различные виды смазочных масел, которые обеспечивают эффект жидкостного трения, заключающийся в образовании жидкой прослойки между трущимися поверхностями, препятствующей их непосредственному соприкосновению. При жидкостном трении работа на преодоление сил трения в основном направлена на преодоление сил молекулярного притяжения жидкой смазки.

Жидкостное трение зависит от различных факторов, к числу которых относятся смазывающая способность масла, в значительной мере определяемая его вязкостью, а также скорость относительного движения трущихся деталей, нагрузка на них и величина зазора между ними. При чрезмерно высокой вязкости масла возрастает работа на преодоление сил трения и, кроме того, затрудняется подача масла в зазор. Чем больше зазор, т. е. чем толще слой смазки, тем надежнее жидкостное трение. Однако при чрезмерно большом зазоре становится все более возможным выдавливание масла. Вероятность выдавливания масла возрастает с понижением его вязкости, а также с повышением нагрузки на детали. По мере вытекания масла из зазора жидкостное трение сменяется на менее благоприятное граничное трение, при котором поверхности разделяются только лишь адсорбированными молекулярными масляными пленками. Если прочность сцепления таких пленок с поверхностью невелика, то они разрушаются, что приводит к полусухому или даже сухому трению, при котором резко возрастает износ трущихся поверхностей, на них появляются задиры и происходит сваривание деталей.

Традиционный путь улучшения свойств смазочных масел – добавление к ним противоизносных присадок. Эти присадки состоят из поверхностно-активных веществ, образующих на поверхности деталей

прочные адсорбированные масляные пленки, благодаря чему повышается сопротивление масел выдавливанию. Кроме того, такие пленки способны оказывать полирующее воздействие на поверхности. В качестве присадок используются различные продукты на основе высокомолекулярных жирных кислот, а также синтетические соединения, содержащие серу, хлор, фосфор.

В последние годы, в связи с развитием нанотехнологий, ведется разработка смазочных масел, модифицированных наночастицами различного состава, т. е. представляющих собой наносuspensions.

Изучением фрикционных процессов, происходящих на наноуровне, занимается новая научная область – нанотрибология, в развитии которой можно выделить два основных направления. Первое направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием нанорельефных контактирующих поверхностей и нанотолщинных смазочных слоев. Особенности таких процессов, типичных для механических наносистем, определяются атомно-молекулярным взаимодействием поверхностей, контактирующих наночастицами (включая единичные наноконтакты) и находящихся под малой нагрузкой. Второе направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием наноструктурных контактирующих поверхностей и наноструктурных смазочных слоев. Такие процессы могут иметь место в различных узлах трения, в том числе содержащих поверхности, контактирующие макро- и микроучастками, обладающие макро- и микрорельефом и находящиеся под большой нагрузкой, а также содержащих макро и микротолщинные смазочные слои. Нанотрибологические исследования, проводимые в обоих направлениях, тесно взаимосвязаны. Это обусловлено тем, что фрикционное взаимодействие нанотел является частным случаем фрикционного взаимодействия макро- и микротел, контактирующие поверхности которых содержат множество макро-, микро- и нанонеровностей.

Известны различные виды нанодисперсных присадок к смазочным маслам, количество которых ежегодно увеличивается на рынках автохимической продукции. Среди них наибольшее распространение получили нанопрепараты, позволяющие осуществлять безразборный технический сервис машин, под которым понимается комплекс мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту машин в процессе их непрерывной эксплуатации, проводимых без разборочно-сборочных работ.

Безразборный технический сервис может включать операции приработки (обкатки), диагностики, профилактики (сезонной подготовки), автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных узлов, так и машин в целом.

Для проведения безразборного технического сервиса используются различные ремонтно-восстановительные наносредства, к которым

относятся как нанодобавки к смазочным материалам, так и самостоятельные нанопрепараты.

По принципу действия наноприсадки к смазочным маслам делятся на следующие основные типы:

- детергентно-диспергирующие – коллоидные системы, содержащие мицеллы, которые состоят из наноразмерных карбонатных ядер, олеофилизированных по поверхности молекулами сульфонов или алкилсалицилатов щелочноземельных металлов (Ca, Mg, Ba); оказывают моющее действие;

- антифрикционные (модификаторы трения) – олеофильные нанодисперсии сульфида молибдена MoS_2 , графита, фуллеренов, карбоната кальция CaCO_3 , фторопласта; оказывают противоизносное действие;

- металлоплакирующие – олеофильные нанодисперсии пластичных металлов ((меди, олова, свинца, серебра, алюминия); применяются для заполнения микротрещин на поверхностях трения;

- прирабочные – нанодисперсные абразивы (алмазные или керамические нанопорошки); ускоряют приработку поверхностей трения;

В отдельную группу входят микрокапсулированные наноприсадки, представляющие собой нанодисперсии, содержащие наночастицы присадочного вещества, покрытые пористой полимерной оболочкой, благодаря которой обеспечивается постепенное (замедленное) выделение присадочного вещества.

В последние годы получили распространение интеллектуальной присадки, которые проявляют свое действие в так называемые критические периоды эксплуатации машин (пуск-останов, приработка, перегрузка, перегрев и др.).

В рамках указанных выше типов наноприсадок выделяются некоторые их виды, отличающиеся особым составом или механизмом действия.

К таким наноприсадкам, в частности, относятся:

- кондиционеры металла, образующие в результате трибохимических реакций защитный граничный слой нанометровой толщиной, который обладает антифрикционными свойствами и одновременно стойкостью к большим нагрузкам;

- рекондиционеры металла, содержащие наноразмерные кластеры органических соединений, которые структурирует граничную масляную пленку и увеличивает адгезию масла к металлу;

- геомодификаторы – нанопрепараты на основе минералов естественного и искусственного происхождения, которые, попадая на поверхность трения вместе с маслом или пластичной смазкой, инициируют процесс формирования металлокерамической наноразмерной структуры с малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью.

Особенности проявления механизмов влияния присадок к смазочным материалам на процессы трения определяются свойствами применяемых присадок и смазочных материалов, качественными характеристиками поверхностей трения, условиями их взаимодействия.

Повышение износостойкости стальных деталей в узлах трения при введении в смазку нанопорошков пластичных металлов обусловлено взаимодействием присадочных наноконпонентов с трущимися поверхностями с образованием на поверхностях в местах точечных контактов тонких пленок, предотвращающих непосредственный контакт поверхностей.

Введение в масло силикатных нанопорошков улучшает температурные характеристики масла и расширяет диапазон рабочих температур, что связывается со структурированием масла под влиянием наночастиц.

Все нанотрибопрепараты различаются по способам применения (введения в трущиеся соединения). Большинство присадок вводят в масла или пластичные смазки. Некоторые препараты подаются непосредственно в зону трения, например, в цилиндропоршневую группу. Порядок применения препаратов определяется техническим состоянием машин. Часто выпускаются препараты комплексного действия.

Благодаря применению нанотрибопрепаратов обеспечивается повышение износостойкости деталей; сокращение продолжительности и улучшение качества приработки поверхностей трения; повышение задиростойкости и снижение питтинга контактирующих поверхностей в тяжело нагруженных парах трения; снижение температуры работающих узлов, уровня шума и вибрации. Их применение является наиболее эффективным в условиях граничного трения, при высоких нагрузках и скоростях скольжения, повышенной температуре трения и «масляном голодании», характерных для изношенных трущихся соединений техники с большим сроком службы, при режимах приработки и перегрузках.

С каждым годом нанотрибопрепараты все шире применяются для обеспечения надежной работы различной техники, о чем свидетельствует анализ мирового рынка нанотрибопрепаратов для автомобилей, выполненный в работе.

Одним из первых нанопрепаратов является препарат Energy Release, разработанный американской компанией Entech Corp для узлов машин, работающих в тяжелых условиях, в которых обычные смазочные материалы не обеспечивают требуемый уровень смазочных свойств. На поверхностях трибосопряжений, обработанных этим препаратом, образуется пленка толщиной 25 нм, на поверхности которой устанавливается динамическое равновесие между атомами железа самой пленки и переходными комплексами продукта Energy Release в составе моторного масла. Обработка нанопрепаратом Energy Release двигателя

автомобиля приводит к уменьшению шероховатости поверхностей деталей до 0,01 мкм и уменьшению износа деталей двигателя в 5 раз.

В настоящее время выпускается большое количество разнообразных по составу нанотрибопрепаратов. Их производят такие всемирно известные компании, как Mobil, Shell, Castrol, British Petroleum, Neste, Comma, Total.

Детергентно-диспергирующие наноприсадки

Для предотвращения или уменьшения образования отложений продуктов окисления на рабочих поверхностях, а также для поддержания продуктов загрязнения во взвешенном состоянии в смазочные масла вводят моющие (детергенты) и диспергирующие (дисперсанты) присадки. В качестве таких присадок широко используют соли (салицилаты, феноляты, сульфонаты) щелочноземельных металлов, в основном кальция. Основная их функция сводится к уменьшению образования осадков и отложений на поверхности деталей у двигателей.

В рамках сложившейся нанотехнологической терминологии детергентно-диспергирующие присадки можно рассматривать как коллоидные наночастицы карбоната кальция, стабилизированного слоем поверхностно-активных веществ (ПАВ). Схема мицеллярного строения частицы такой присадки показана на рисунке 7.1.

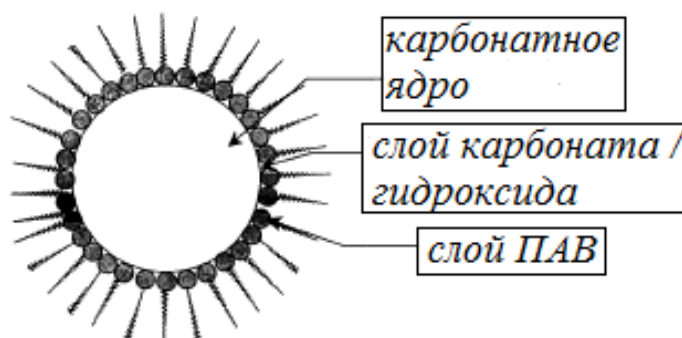


Рисунок 7.1 - Схема строения частицы детергентно-диспергирующей присадки

Размер частиц присадки зависит от структуры ПАВ и условий приготовления. Обычно радиус карбонатного ядра составляет 1-10 нм (15- 40 % масс.), стабилизированного растворимыми в масле ПАВ, окружающих ядро слоем толщиной 1-4 нм (20- 45 % масс.).

Главная роль в механизме действия детергентно-диспергирующих присадок отводится их способности к солюбилизации, т.е. способности включать в свои мицеллы продукты окисления и другие загрязнения. Согласно существующим электрокинетическим представлениям о механизме моющего действия присадок, в частности сульфонатов, при растворении сульфоната в масле образуются мицеллы, несущие определенный заряд, поэтому масла ведут себя как неводные

электролиты и эффективность их моющего действия обусловлена их электрической проводимостью. В связи с этим считается, что наибольшей моющей эффективностью обладают присадки, которые при растворении образуют наибольшее количество мицелл наименьших размеров, несущих более высокий электрический заряд.

Антифрикционные наноприсадки

Среди различных присадок, влияющих на трение и износ, наиболее значительный интерес представляют антифрикционные присадки – так называемые «модификаторы трения». При введении в смазочные масла они способствуют экономии топлива, уменьшению расхода масла и снижению износа трущихся деталей. В последние годы все шире применяют разнообразные антифрикционные наноприсадки.

В моторное масло предложено добавлять антифрикционную присадку в виде смеси наноразмерных частиц дисульфида молибдена и сплава латуни с фосфором.

Сравнительные испытания дизельных двигателей типа А-01с использованием этой присадки к маслу М-10-Г2, которые проводились на обкаточно-тормозном стенде, показали, что присадка приводит к снижению момента механических потерь в дизелях. Смазочная среда, содержащая присадку, обладает лучшими противоизносными свойствами в отношении пары трения «шейка коленчатого вала – вкладыш», поскольку обеспечивает повышение давления масла в главной масляной магистрали дизелей. Так, она вызывает снижение износа шатунных шеек в 1,49 раза, коренных – в 1,35 раза, коренных вкладышей в 1,25, шатунных – в 1,29 раза. Также установлено, что дизели, прошедшие испытания на масле с присадкой, работают более эффективно. Так, при номинальной частоте вращения коленчатого вала средняя эффективная мощность обычно составляет 93 кВт, средний удельный расход топлива – 257 г/кВт·ч, а при использовании масла с присадкой – соответственно 96 кВт и 242 г/кВт·ч. Таким образом, эффективная мощность дизеля, испытанного на масле с присадкой увеличивается на 3,2%, а удельный расход топлива снижается на 6,1%.

Влияние предложенной присадки на антифрикционные и противоизносные свойства моторного масла объясняется образованием на трущихся поверхностях тонких граничных пленок, в которых отдельные компоненты присадки выполняют разные функции. Наличие в пленках наночастиц дисульфида молибдена, характеризующихся пластинчатой структурой, приводит благодаря свободному взаимному перемещению пластинок этого вещества к уменьшению коэффициента трения, снижению износа и предотвращению повреждения поверхностей деталей. В свою очередь, наличие на поверхностях трения пластичной пленки, состоящей из сплава латуни с фосфором, способствует локализации деформационных процессов в тонком

поверхностном слое самой пленки без отделения частиц основного материала.

Для улучшения антифрикционных свойств смазочных материалов в них предложено вводить углеродосодержащие ультрадисперсные добавки.

Модифицированию подвергали как пластичные, так и жидкие смазочные материалы. В качестве базовых пластичных смазочных материалов использовали смазки Литол-24 и ЦИА-ТИМ-201, которые смешивали с порошками ультрадисперсного алмазографита (УДПАГ) в количестве 0,5-2,5% масс. В качестве базовых жидких смазочных материалов использовали трансмиссионные, промышленные и моторные масла, в которые вводили а порошок УДПАГ и ультрадисперсный порошок модифицированной технической сажи (УДП-МТС) с содержанием 1-2% масс.

Об эффективности использования модифицированных смазочных материалов свидетельствуют результаты их стендовых и эксплуатационных испытаний в подшипниковых узлах и зубчатых передачах трансмиссий и приводов подвижного транспорта. Так, использование Литола-24 с 1,5% добавкой УДПАГ приводит к снижению износа подшипников в 1,5-2,2 раза, а использование трансмиссионного масла ТМ-5-18 с 1% добавкой УДП-МТС приводит к увеличению передаваемого вращающего момента на 7-10% и снижению температуры смазочного материала на 14-17%.

Применение смазочной композиции на основе моторного масла М-10-В₂ с добавкой 0,5% масс. УДПАГ при обкатке дизельных двигателей марки ЯМЗ-238 (8 ч непрерывной работы) вызывает уменьшение износа в 1,5 раза. Кроме того, наблюдается уменьшение нагрева охлаждающей жидкости и более стабильная работа двигателя (вращение двигателя происходит с постоянной частотой, равной 950 мин⁻¹).

Применение смазочной композиции на основе промышленного масла ИСп-65 с добавкой 1% масс. УДП-МТС улучшает работу трехступенчатых редукторов, содержащих прямозубые цилиндрические передачи, в частности, обеспечивает повышение контактной выносливости на 45-50%, повышение передаваемого момента, оцениваемого по величине тока электродвигателя в установившемся режиме, на 8-12%, снижение уровня шума и вибраций на 20-40 %.

Установлено, что антифрикционные и противоизносные свойства масел, а также пластичных смазок улучшаются при их модифицировании алмазо-графитовыми и сажевыми наночастицами. Аналогичное улучшение свойств масел наблюдается при их модифицировании углеродными нанотрубками.

Особым видом антифрикционных наноприсадок являются геомодификаторы – порошковые минерало-силикатные композиции на основе подвидов минерала серпентинита. При введении мелкодисперсных порошков серпентина в смазочные материалы на

поверхности трения деталей образуется упрочненный металлокерамический слой. Частицы порошка, попадая в узкие зазоры между поверхностями трения, проводят их микрошлифовку, сопровождающееся сильным нагревом поверхностей, которому способствует выделение внутренней энергии при разрушении серпентина. Из-за высоких температур микронеровности поверхностей трения размягчаются вплоть до их перехода в пластическое состояние. В размягченные слои внедряются твердые частицы минералов, образуется композиты типа «металл-минерал», т.е. металлокерамику. Это приводит к значительному улучшению триботехнических свойств смазок, снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

В последние годы разрабатываются наногомодификаторы, представляющие собой минерало-силикатные композиции в виде нанодисперсных порошков. Попадая на поверхности трения вместе с маслом или в составе пластичной смазки, наногомодификаторы инициируют формирование на трущихся поверхностях металлокерамической наноразмерной структуры с малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью.

Металлоплакирующие наноприсадки

К металлоплакирующим наноприсадкам (нанореметаллизантам) относятся нанопорошковые металлоорганические соединения, которые реализуют трибохимический механизм металлоплакирования поверхностей трения вследствие образования на них металлосодержащей наноструктурированной защитной пленки с минимальными значениями коэффициента трения и интенсивности изнашивания. В качестве плакирующих металлов используются медь, свинец, олово, цинк, алюминий и др.

С помощью металлоплакирующих смазок восстанавливаются нано- и микродефекты поверхностей трения, обеспечивается частичное безразборное восстановление микроизносов подшипников качения и скольжения и других смазываемых поверхностей, повышение износостойкости деталей, сокращается продолжительность и повышается качество приработки поверхностей трения, повышается задиростойкость и снижается питтинг контактирующих поверхностей в тяжело нагруженных парах трения, понижаются температура работающих узлов, уровни шума и вибрации.

Наибольший эффект применения металлоплакирующих смазок достигается в условиях граничного трения, при высоких нагрузках и скоростях скольжения, повышении температуры трения, что характерно для изношенных трущихся соединений с большим сроком службы, при режимах приработки и перегрузках.

Особой разновидностью металлоплакирующих наноприсадок являются магнитные жидкости, которые находятся в узлах трения под действием магнитного поля. Магнитные наночастицы, удерживаемые

магнитным полем в зоне трения, заполняют микронеровности трущихся поверхностей, что приводит к значительному уменьшению износа поверхностей.

Приработочные наноприсадки

Приработкой называется процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материалов в начальный период трения, заключающийся в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Приработку деталей проводят в ходе обкатки двигателей и элементов трансмиссии, обусловленной наличием дефектов изготовления и сборки деталей и узлов, приводящих к схватыванию и возможному появлению задира поверхностей трения, а также необходимостью выявления возможных скрытых дефектов изготовления. Обкатка осуществляется на стендах на машиностроительных и ремонтных предприятиях, а также в организациях-потребителях во время эксплуатации.

В состав многих приработочных присадок к смазочным маслам входят наноалмазы (алмазные наночастицы размером 4-6 нм). Они структурируют масляную пленку, повышают ее динамическую прочность, действуют на кристаллическую решетку поверхности металла, упрочняя ее, формируют новые поверхности трения, снижая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках и дефиците смазочного материала). Благодаря этому сокращается длительность обкатки двигателей, улучшается качество трущихся соединений, экономятся топливо и масло, снижается количество вредных выбросов и облегчается запуск двигателей.

В зависимости от условий применения наноалмазы могут играть роль либо тонкого абразива, либо модификатора трения. Они способны оказывать структурирующее действие как на поверхности трения, внедряясь в поверхности деталей, армируя ее, так и на смазочный материал, изменяя его свойства. Находясь в смазочной среде в малых количествах (0,01-0,003 %), наноалмазы обеспечивают безабразивную приработку поверхностей трения деталей двигателей и трансмиссий, способствуя сокращению продолжительности и улучшению качества приработки. При этом приработка осуществляется не за счет скалывания и разрушения микрошероховатостей поверхностей, а в результате пластифицирования, деформирования (вдавливания) и наклепа микровыступов шероховатости поверхностей. Такая приработка позволяет повысить в 1,5-2 раза износостойкость и задиростойкость деталей двигателей, трансмиссии и рулевого управления; повысить до 2 раз межремонтный ресурс деталей; повысить до 5% мощность двигателя за счет увеличения компрессии и уменьшения потерь на трение; снизить на 5-10% расход топлива и смазочных материалов; уменьшить до 2 раз вредные выбросы в атмосферу; снизить температуру работающих узлов,

уровень шума и вибрации, а также затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт техники.

Интеллектуальные наноприсадки

К интеллектуальным наноприсадкам относятся такие наноприсадки, действие которых проявляется в так называемые критические периоды эксплуатации машин (пуск-остановка, приработка, перегрузка, перегрев и др.).

При нормальной эксплуатации машин компоненты интеллектуальных наноприсадок находятся в зарезервированном состоянии и практически не срабатывают, что обусловлено наличием периода пассивации поверхностей трения, когда образовавшиеся на них защитные структуры останавливают дальнейшее взаимодействие и срабатывание активных комплексов присадок.

Образующаяся в результате введения порошковых интеллектуальных наноприсадок в масло дисперсная система приобретает свойства самоорганизации, в результате чего становится возможной возникновение самопроизвольной структурной упорядоченности масла в виде взаимосвязанных молекулярных образований. Эта упорядоченность возникает в процессе эксплуатации машин при достижении некоторых критических значений параметров в смазочной системе (температуры, давления, концентрации). Благодаря развитию интеллектуальных наноприсадок появляется новое поколение масел, способных адаптироваться к различным условиям функционирования узлов трения.

7.2 Топливные наноматериалы

Основными видами топливных материалов для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются бензин и дизельное топливо. Для улучшения условий их использования в них вводят нанокатализаторы – нанодисперсные добавки, обладающие высокой каталитической активностью. Наличие нанокатализаторов в бензине и дизтопливе существенно снижает образование загрязнений и отложений в системах подачи топлива, впускных и выпускных системах, в камерах сгорания, в каталитических нейтрализаторах отработавших газов и в целом способствует улучшению экологических, энергетических и ресурсных характеристик двигателей.

Свойства нанокатализаторов, используемых для сжигания топлива, определяются наноструктурными особенностями носителей и наноразмерностью частиц активных компонентов.

Каталитическое сжигание принципиально отличается от факельного: оно протекает без образования пламени на поверхности твердых катализаторов при сравнительно невысоких температурах (500–

900 °С) и характеризуется отсутствием токсичных выбросов углеводородов, СО, NO_x; высокой эффективностью сжигания.

Основой нанокатализаторов являются нанопористые носители, на которые наносятся активные компоненты. Каталитические реакции протекают при взаимодействии молекул газообразных веществ на поверхности активного компонента, поэтому необходимо обеспечивать максимальную реакционную способность поверхности активного компонента в единице веса, что достигается в первую очередь увеличением удельной поверхности оксидного носителя и уменьшением размера индивидуальных частиц активного компонента. В качестве носителей используются оксиды алюминия, титана, кремния (с размерами пор до 40–60 нм), а также цеолиты (с размерами пор до 1 нм). Активными компонентами служат наночастицы благородных металлов, главным образом платины Pt, палладия Pd и родия Rh (размером 1-5 нм), а также оксидов переходных металлов – меди, хрома, марганца, кобальта и др. (размером 25–40 нм и менее). Благородные металлы более активны в реакциях окисления топлива, однако их использование ограничено высокой стоимостью и склонностью к дезактивации при высоких температурах.

Одним из эффективных путей снижения эмиссии вредных веществ с отработавшими газами ДВС является использование растворимых в моторном топливе производных мочевины вместе с наночастицами диоксида церия CeO₂ (размером 10-40 нм). Данная композиция добавляется непосредственно в моторное топливо любого типа и обеспечивает понижение температуры оптимального горения топливной смеси и дополнительный резерв кислорода для ее более полного сгорания. Кроме того, она способствует уменьшению образования отложений в камере сгорания и выпускной системе, сокращению расхода топлива, снижению эмиссии вредных веществ с отработавшими газами.

На основе этой композиции разработан ряд других функциональных нанодобавок к бензину и дизельному топливу:

- нанотюнинг топлива (добавка к бензину) – способствует увеличению мощности двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, очищает топливную систему и стабилизирует ее работу в целом;

- наноочиститель инжекторов (добавка к бензину) – очищает систему подачи топлива от отложений и нагара, способствует удалению губчатых образований с впускных клапанов и нагара со стенок камеры сгорания; облегчает запуск двигателя, снижает износ и повышает защиту деталей от коррозии; снижает расход топлива и токсичность выхлопа;

- наноочиститель каталитического нейтрализатора (добавка к бензину) – очищает нейтрализаторы выхлопных газов бензиновых двигателей, электроды кислородного датчика, способствует повышению

приемистости двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, увеличению срока службы нейтрализатора;

- наноочиститель форсунок (добавка к дизельному топливу) – обеспечивает очистку распылителей, топливной аппаратуры и стенок камеры сгорания от углеродистых отложений и нагара; облегчает запуск двигателя, способствует восстановлению распыла топлива и мощности дизеля, снижению износа, защите от коррозии, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа.

Повышение эксплуатационных свойств топлива обеспечивается введением в него различных металлсодержащих добавок, причем их действие тем эффективнее, чем выше дисперсность частиц металла. Это открывает большие перспективы в использовании в качестве добавок к топливу металлсодержащих наноматериалов.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой безразборный технический сервис?
2. Что представляют собой ремонтно-восстановительные наносредства?
3. Назовите основные типы наноприсадок к смазочным маслам.
4. Что представляют собой микрокапсулированные наноприсадки?
5. Чем различаются по своим функциям кондиционеры и рекондиционеры металлов?
6. Каковы функции и механизм действия детергентно-диспергирующих наноприсадок?
7. Каковы функции и механизм действия антифрикционных наноприсадок?
8. Каковы функции и механизм действия металлоплакирующих наноприсадок?
9. Каковы функции и механизм действия приработочных наноприсадок?
10. Что представляют собой интеллектуальные наноприсадки?
11. Как изменяются свойства топливных материалов при введении в них нанокатализаторов?
12. Каков механизм влияния нанокатализаторов на свойства топливных материалов?
13. Каково функциональное назначение нанотюнинга топлива?
14. Каково функциональное назначение наноочистителя инжекторов?
15. Каково функциональное назначение наноочистителя каталитического нейтрализатора?
16. Каково функциональное назначение наноочистителя форсунок?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

- 1 Шило И.Н. Умная сельскохозяйственная техника: учеб. пособие / И.Н. Шило, Н.К. Толочко, С.О. Нукешев, Н.Н. Романюк, Н.Н. Есхожин. – Астана: Изд-во КазАТУ им. С. Сейфулина, 2017. – 182 с.
- 2 Кабикенов С.Ж. Основы технической эксплуатации транспортной техники / С.Ж. Кабикенов, Т.С. Интыков, М.М. Кириевский, В.В. Шалаев; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2015. – 261 с.
- 3 Никитченко С.Л. Инженерное обеспечение растениеводства / С.Л. Никитченко. –М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016.– 272 с.
- 4 Петров В.М. Электрооборудование, электронные системы и бортовая диагностика автомобилей: учеб. пособие / В.М. Петров, И.Ф. Дьяков. – Ульяновск, 2005. – 119 с.
- 5 Жданок С.А. Нанотехнологии в агропромышленном комплексе /С.А.Жданок, З.М.Ильина, Н.К. Толочко; под ред. Н.К. Толочко. – Минск: БГАТУ, 2012. – 172 с.
- 6 Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. – 220 с.
- 7 Федоренко В.Ф. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники: науч. аналит. обзор / В.Ф.Федоренко, И.Г.Голубев – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 140 с.
- 8 Нукешев С.О. Кавитационная очистка деталей сельскохозяйственной техники: учеб. пособие / Нукешев, Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк, А.Н. Челединов. – Нурсултан: КазАТУ, 2020. – 136 с.:
- 9 Вейко В.П. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении: учеб. пособие / В.П.Вейко, В.Н.Смирнов, А.М.Чирков,Е.А. Шахно. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
- 10 Извозчикова В.В. Совершенствование технического сервиса сельскохозяйственных машин на основе информационного обеспечения / В.В.Извозчикова, И.В.Матвейкин, П.И.Огородников // Техника в сел. хоз-ве.– 2008.– № 3.– С. 23-26.
- 11 Гладцын А.Ю. Технический сервис АПК нуждается в укреплении информационно-маркетинговых центров / А.Ю.Гладцын, Е.В. Воронов // Российское предпринимательство. – Том 10. – № 4. – С. 129-134.
- 12 Кизим А.В. Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учётом интересов субъектов процесса / А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.Ю. Мельник, В.А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57-59.
- 13 Кизим А.В. Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А.В. Кизим, Н.А. Линева // Известия

ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2008. – № 2, вып. 4. – С. 43-45.

14 Криков А.М. Информационные модели системы технической диагностики и обслуживания тракторов / А.М. Криков, Р.Г. Бердникова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2011. - № 5-6. - С. 102-108.

15 Криков А.М. Разработка системы информационного обеспечения технического обслуживания грузовых автомобилей АПК / А.М.Криков, А.Г. Федоров // Труды ГОСНИТИ. – М.: ГОСНИТИ, 2012. – Т. 112, ч. 2: Техническое обслуживание. Ремонт. – С. 48-50.

16 Петрищев Н.А. Применение телеметрических информационных бортовых систем для контроля технического состояния тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин / Н.А. Петрищев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2012. – №11. – С. 38-45.

17 Шевченко И. А. Повышение эффективности эксплуатации молочно-доильного оборудования / И.А. Шевченко, Э.Б. Алиев // Матер. XVI Междунар. симп. по машинному доению сельскохозяйственных животных (Минск–Гомель, 27–29 июня 2012 г.). – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – С. 62-68.

18 Иванов В.В. Технологические возможности комбинированного вибрационного механохимического нанесения покрытий / В.В. Иванов // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2010. – Вип. 44.– С. 16-19.

19 Колмыков Д.В. Комбинированные методы упрочнения / Д.В. Колмыков, А.Н. Гончаров // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2012. – Вип. 16(24). – С. 46-50.

20 Киричек А.В. Перспективные методы комбинированного упрочнения на основе статико-импульсной обработки ППД / А.В. Киричек, Д.Е. Тарасов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – №10(34). – С. 44-47.

21 Черновол М.И. Структурно-фазовые превращения и модифицирование при электроконтактной обработке стальных газотермических покрытий / М.И. Черновол [и др.] // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия В. – 2016. – №3. – С. 115-123.

22 Эдигаров В.Р. Комбинированная электромеханоультразвуковой обработка поверхностных слоев деталей машин / В.Р. Эдигаров, Б.Ш. Алимбаева, П.С. Перков // Вестник СибАДИ. – 2017. – Вып. 2 (54). – С. 42-47.

23 Бармашов И. Эффективная очистка плазмой изделий электронной промышленности / И. Бармашов // Технологии в электронной промышленности. –2013.– № 2. –С. 42-44.

24 Сергеев С.В. Анализ способов отделочно-упрочняющей обработки поверхности деталей ГТД свободным абразивом / С.В. Сергеев, Т.В. Лоза, А.П. Петренко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. –2013. –Вып. 4. –С. 80-88.

25 Малышев Г.П. Исследование возможности использования бластинговой технологии в металлургическом производстве / Г.П. Малышев, П.С. Кулик // Металургія / ред. В.І. Пожуєв. – Запоріжжя, 2012. – Вип. 2 (27). – С. 178-181.