

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 631.3.004.67(075.8)

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КУРСА
«ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ»

доктор техн. наук, профессор В.П. ИВАНОВ

Изложены содержание, структура и методические особенности учебника по восстановлению деталей. Обозначена его цель – обеспечить будущего специалиста знаниями, достаточными для разработки процесса восстановления любой детали высокого технического уровня.

Рассмотрены составляющие производства по восстановлению деталей: средства производства (материальная база), ремонтный фонд деталей (предметы труда) и функции средств производства и исполнителей над предметами труда (технологические процессы). Описаны исходные и ремонтные заготовки производства, механическая и термическая обработка заготовок. Представлены выбор процессов восстановления отдельных деталей и технологическая унификация этих процессов. Впервые изложено восстановление свойств деталей. Рассмотрена организация восстановительного производства.

Необходимость ремонта машин. Ограниченные мощности машиностроительного производства и государственные запасы материалов и топлива не могут обеспечить расширенное воспроизводство парка машин. Наряду с совершенствованием машиностроения, требует своего развития ремонтное производство, которое восстанавливает исправное состояние и ресурс машин, при этом сберегает много овеществленного (прошлого) и живого (настоящего) труда.

Ресурсы составных частей машин при их эксплуатации не совпадают как между собой, так и с ресурсом машины в целом. Машина, спроектированная в виде множества взаимодействующих равноресурсных элементов, не может реализовать это свойство в различных условиях эксплуатации. Замена отказавших элементов при ремонте или упрочнение часто отказывающихся элементов уравнивают ресурс машины с ресурсом ее составных частей.

Преждевременная замена машины в эксплуатации приводит к потере ее недоамортизированной стоимости. Ремонт позволяет использовать сохранившуюся потребительскую стоимость машины в виде ее остаточной долговечности.

Ремонт машин, совмещенный с их модернизацией путем использования агрегатов более совершенной конструкции, позволяет сблизить сроки физического и морального износа, повысить технический уровень техники или приспособить ее к новым запросам потребителя.

Ремонт машин экономически целесообразен. Состояние примерно четверти деталей ремонтного фонда позволяет их дальнейшее использование без восстановительных работ. Около половины деталей могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15 – 30 % от цены новых деталей. Восстановление деталей позволяет ремонтно-обслуживающим предприятиям и владельцам техники сократить время простоя машин в ремонте, повысить качество их технического обслуживания и улучшить показатели использования и надежности. Около 85 % деталей утрачивают работоспособность при износах, не превышающих 0,2 – 0,3 мм, что подтверждают значительные размеры ремонтного фонда деталей, подлежащих восстановлению.

Место восстановления деталей в процессе ремонта машин. Восстановление деталей является частью ремонта машин (рис. 1), но составляет его основу. Трудоемкость восстановления деталей составляет 30 – 50 % от общей трудоемкости ремонта машин, однако и наибольшую долю экономического эффекта дает именно восстановление этих деталей.

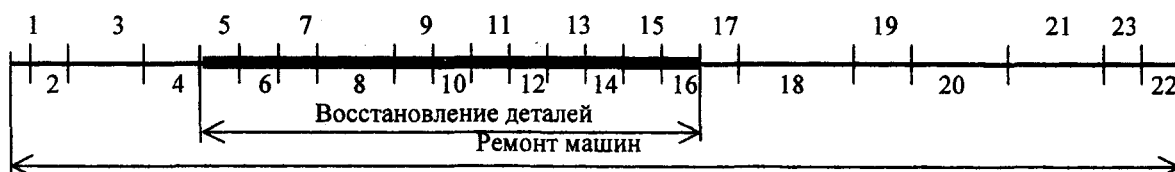


Рис. 1. Операции восстановления деталей в процессе ремонта машин:

1 – приемка машин в ремонт; 2 – диагностирование агрегатов; 3 и 4 – разборка и очистка машин, агрегатов и узлов; 5 и 6 – очистка и определение технического состояния деталей; 7 – предварительная механическая обработка; 8 – нанесение покрытий, закрепление дополнительных ремонтных деталей и объемное пластическое деформирование; 9, 10, 11 и 12 – соответственно термическая, черновая механическая, термическая (химико-термическая) и чистовая механическая обработки; 13 – поверхностное пластическое деформирование; 14 – отделка поверхностей; 15 – очистка от технологических загрязнений; 16 и 17 – контроль и комплектование деталей; 18, 19, 20, 21 и 22 – соответственно сборка, окрашивание, обкатка, испытания и контроль агрегатов (машин); 23 – сдача заказчику

Восстановление изношенных деталей в системе вторичного производства машин является природоохранным и ресурсосберегающим производством. На изготовление, например, одного коленчатого вала автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л расходуют 57 кг металла, 183 МДж энергии, масса отходов при этом равна 2,5 кг. При восстановлении эти величины имеют значения примерно в двадцать раз меньше, соответственно 2,6 кг, 9,5 МДж и 0,12 кг. Только за счет исключения металлургического процесса экономят при восстановлении одной тонны стальных деталей 180 кВт·ч электроэнергии, 0,8 т угля, 0,8 т известняка и 175 м³ природного газа.

Предпосылки создания нового учебного издания. Глубокое усвоение теории восстановления деталей – это предпосылка повышения технического уровня восстановительного производства путем разработки новых технологий и оборудования или выбора лучших технических решений из действующих. Знания необходимы при изучении технологии ремонта машин, проектировании производственных участков, организационной и технологической подготовке восстановительного производства. Ряд положений этой теории полезны специалистам машиностроительного производства для организации процессов упрочнения изготавливаемых деталей. Изучение технологии восстановления деталей как одной из важных прикладных дисциплин играет важную роль в творческом развитии студента, а совершенствование полученных знаний необходимо для будущего служебного роста молодого специалиста.

Разделы по восстановлению деталей введены в курсы ремонта машин, например [1, 2].

Создание нового учебного издания обусловлено двумя причинами. Первая – материал существующих учебных изданий в неполной мере отражает научные разработки, а также средства и процессы, применяемые в производстве. Вторая – имеется опыт нового изложения изучаемых проблем.

В разное время обобщенный материал научного и производственного характера издавался в виде справочников [3 – 10]. Наша работа [11] преследовала цель обеспечения специалистов восстановительного производства современными сведениями, которые включают:

- структуру, задачи, роль и организацию этого производства;
- новые материалы для нанесения покрытий и источники тепла;
- внедренные и перспективные способы создания ремонтных заготовок, их термическую и механическую обработку;
- выбор способа восстановления детали;
- основы маркетинговой и технологической подготовки производства к освоению восстановления деталей;
- современные методы создания оборудования и оснастки в собственном вспомогательном производстве.

При подготовке справочного материала были использованы опыт работы передовых ремонтных заводов СНГ и материалы последних научно-технических конференций на темы восстановления деталей, в том числе в Москве (ВНИИТУВИД «Ремдеталь» – 1994, 1997, 1999, 2003 гг.), Киеве (Ассоциация технологов-машиностроителей Украины – 1998 – 2003 гг.), Санкт-Петербурге (НПФ «Плазмацентр» – 2002 г.), Новополоцке (ПГУ – 1997, 1999 и 2001 гг.), Минске (БАТУ, 1999 г.), Кишиневе (МГАУ – 2000 г.) и Кировограде (КТУ – 2001, 2003 гг.).

Особенности ремонта машин в различных отраслях промышленности прослеживаются в источниках [12 – 16]. Ремонтное производство с течением времени изменяет свою специализацию. Оно переходит от ремонта полнокомплектных машин к ремонту их агрегатов и сборочных единиц (цилиндропоршневых групп, коленчатых валов с маховиком и сцеплением и др.), восстановлению деталей (в том числе малоресурсных деталей – поршней, вкладышей коленчатого вала и др.) и к выпуску комплектов деталей для текущего ремонта агрегатов. Комплекты восстановленных деталей применяют в эксплуатационных хозяйствах при средних или текущих ремонтах агрегатов. Содержание публикаций последнего времени, учитывающих особенности изменяющейся специализации ремонта машин, направлено на восстановление типовых деталей [17, 18].

Содержание и структура курса. Курс состоит из нескольких разделов. Вначале рассмотрено производство по восстановлению деталей (его материальная база – средства производства, ремонтный фонд деталей – предметы труда и функции средств производства и исполнителей над предметами труда – технологические процессы). В последующих разделах показаны исходные и ремонтные заготовки производства, механическая и термическая обработка последних. Имеется раздел по выбору процессов восстановления отдельных деталей и технологической унификации. Впервые введен раздел «Восстановление свойств деталей».

Рассмотрены основные свойства восстанавливаемых деталей: геометрическая точность (расположения, формы, размеров и шероховатости) поверхностей; износостойкость трущихся элементов; статическая прочность деталей; герметичность их стенок и стыков; жесткость, статическая и усталостная прочность; герметичность стенок и стыков деталей; масса детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции. Последний раздел посвящен организации восстановительного производства, в том числе созданию в этом производстве системы менеджмента качества.

Методические особенности курса. Следование основного материала большинства учебных изданий не соответствует следованию операций в реальном технологическом процессе. Часто, например, описание восстановления деталей следует за описанием процессов сборки агрегатов, а их окрашивание – после обкатки и т.д. Такое представление материала оставляет на долгие годы после изучения дисциплины превратное представление у специалиста о следовании операций в действующем производстве. Доля учебного материала по различным операциям восстановления деталей соответствует доле их трудоемкости в заводских технологических процессах.

Изменена глубина классификации деталей ремонтного фонда. Впервые составлены классификационные группы из элементов деталей по признакам формы и функций. Классификация элементов деталей уменьшает объем технологической подготовки восстановительного производства за счет широкого использования модульных технологических процессов.

В курсах деталей машин [19] на основе многолетнего опыта проектирования и использования машин определены основные критерии работоспособности и расчета их деталей: прочность (статическая и цикловая), жесткость и виброустойчивость, износная, тепловая и коррозионная стойкость. При восстановлении детали достигают нормативных значений функциональных и ресурсных свойств (показателей). Функциональные показатели характеризуют исправность детали (соответствие их параметров нормативным значениям). Имеется группа ресурсных показателей, которые определяют степень восстановления ресурса. При восстановлении деталей, в том числе и их элементов, доводят до нормативных значений следующие свойства:

- чистоту поверхностей;
- износостойкость трущихся элементов;
- статическую прочность элементов;
- усталостную (циклическую) прочность детали;
- жесткость упругих деталей;
- герметичность стенок и стыков;
- взаимное расположение и форму элементов;
- точность линейных и угловых размеров;
- шероховатость рабочих поверхностей;
- значение массы детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции;
- коррозионную стойкость.

Содержание процесса восстановления детали представлено на рис. 2. Детали поступают на восстановление с загрязнениями, изношенными поверхностями, израсходованной усталостной прочностью, измененной массой, уменьшенной жесткостью, утраченной герметичностью, деформированными и другими измененными параметрами.

Поврежденная деталь ремонтного фонда на пути своего превращения в годную деталь в результате технологических воздействий на нее исполнителей и средств восстановления последовательно пребывает в состояниях детали ремонтного фонда, исходной и ремонтной заготовок и восстановленной детали. При этом изменяют значения геометрических параметров, химический состава поверхностных слоев, их структуру (в том числе дислокационную) и внутренние напряжения в них.

Исходная заготовка представлена в виде очищенной детали ремонтного фонда с устранимыми повреждениями. Исходная заготовка в общем случае превращается в ремонтную заготовку путем создания припусков на восстанавливаемых поверхностях и путем устранения трещин, а ремонтная заготовка – в восстановленную деталь в результате термической и механической обработки. Очередность технологических операций в процессе восстановления детали подчинена накоплению и усилению необходимых свойств детали под влиянием вложенных материалов и энергии в заготовку.

Разборка агрегатов



Ремонтный фонд деталей

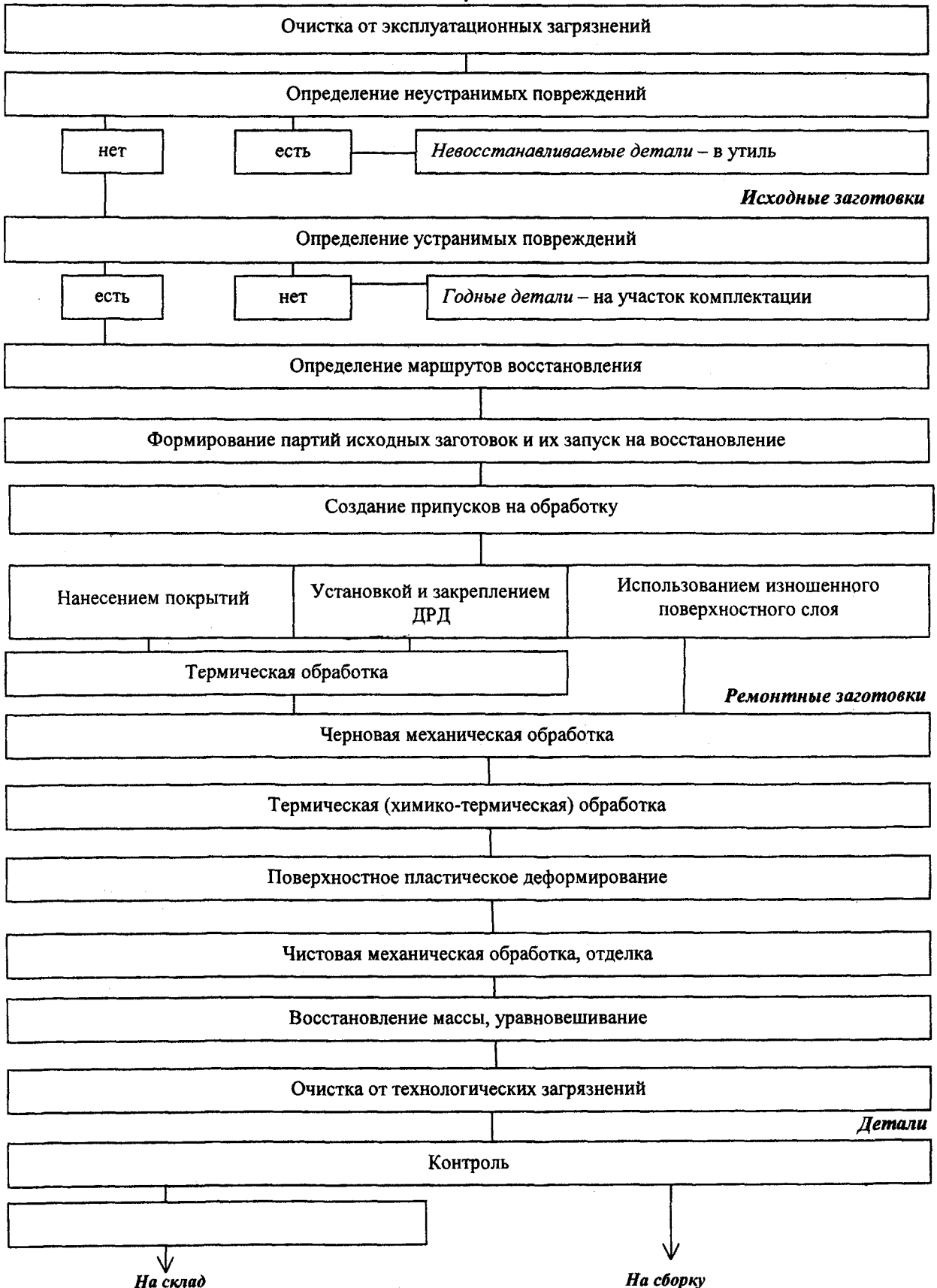


Рис. 2. Схема технологического процесса восстановления детали

При рассмотрении операций создания ремонтных заготовок и их обработки выделены группы прогрессивных процессов. Широко применяют различные виды наплавки и напыления с использованием источников тепла. Анализ этих источников по критерию тепловой мощности, вкладываемой в единицу восстанавливаемой поверхности, показывает, что получают применение электроннолучевые, электроискровые, лазерные, вакуумно-конденсационные и другие процессы. Процессы пластического деформирования материала заготовки обладают уникальной особенностью обходиться при восстановлении большого количества параметров и свойств без вложения дополнительного материала в заготовку, в отличие от способов нанесения покрытий, установки и закрепления дополнительной ремонтной детали (ДРД).

Восстановление свойств деталей представлено процессами с использованием механической и термической обработки и большой номенклатуры материалов.

В учебной литературе недооценивается роль и объемы технологической подготовки ремонтно-восстановительного производства, которая требует больших материальных, трудовых и энергетических затрат на создание системы средств технологической оснастки (СТО). Например, силами вспомогательного производства ремонтного завода при освоении ремонта двигателя новой модели создают 100 – 200 единиц оборудования, которым почти полностью оснащены разборочно-очистной, комплектовочно-сборочный, окрасочный и испытательный участки. Несколько тысяч приспособлений расширяют технологические возможности приобретенного оборудования. Требуется еще большее число инструментов для обработки заготовок. Каждая технологическая операция требует создания контрольных средств для измерения параметров расположения деталей и функциональных характеристик сборочных единиц. Трудоемкость изготовления такого количества средств технологического оснащения составляет 50 – 350 тыс. чел.-ч, что соответствует более чем полугодовому объему трудоемкости основного производства. Даны основы структурного и параметрического синтеза средств восстановления, изготавливаемых в собственном вспомогательном производстве.

Содержание задачи выбора способа восстановления детали представлено следующим образом: из числа возможных типов и видов технологических операций, образующих процесс, найти такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по производительности и качеству этого процесса с наименьшими затратами.

При выборе варианта технологического процесса одновременно ведут поиск как новых, так и оптимальных технических решений. Связное множество операций процесса восстановления детали выбирается из графа Γ (рис. 3), составленного из вершин и дуг.

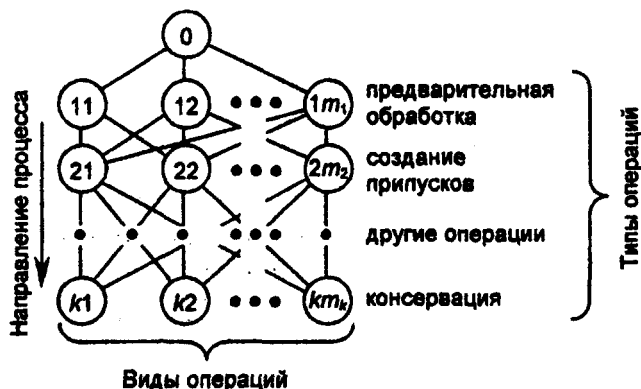


Рис. 3. Граф вариантов технологического процесса восстановления детали:
 1, 2, ..., k – типы операций; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов операций каждого типа

Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -тое подмножество однотипных технологических операций ($i = 1 \dots n$). Каждый тип операций состоит из $j = m_k$ их видов. Так, например, покрытие может быть нанесено наплавкой, напылением, химическим или электрохимическим способом и т.д. Виды технологических операций находятся из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии, использования новых материалов и различных физических эффектов или их сочетаний. В граф включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по качеству и производительности восстановления деталей. Длину каждой дуги графа определяют как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенной к одной детали.

Таким образом, множество вершин графа p_{ij} соответствует множеству образующих его операций, а множество дуг $l_{i,j+1}$ – затратам на подготовку и выполнение последующих операций.

Связное подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант технологического процесса. Число таких вариантов достигает произведения $m_1 \cdot m_2 \dots m_k$. Несовместимость некоторых операций между собой сокращает количество вариантов процесса.

Оптимизация задачи выражается в поиске кратчайшего пути из вершины O в одну из вершин нижнего яруса графа, а, соответственно, подмножество вершин на этом пути определяют оптимальный состав операций технологического процесса.

Кратчайший путь L_{j+1} по всем m между указанными вершинами определяют путем решения рекуррентного уравнения в каждой вершине графа:

$$L_{j+1} = \min_{\substack{i=1..n \\ j=1..k}} [L_{(i+1)j} + L_j],$$

где i – шаги решения;

m – количество видов технологических операций j -того типа;

L_i – затраты на выполнение i -той операции при условии, что соответствующий участок графа выбран оптимальным образом;

L_{j+1} – затраты, отнесенные к $i+1$ операциям;

$L_{(i+1)j}$ – затраты, отнесенные к присоединению $(i+1)$ -той операции процесса к i его операциям.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обуславливают оптимальные сочетания операций на предыдущих шагах с операцией на последующем шаге. Расчеты при этом ведутся от вершин нижнего их ряда к вершине O , а в вершины графа вводят значения L_{i+1} .

С применением приведенного способа оптимизации ведут также разработку средств технологического оснащения, поскольку элементы графа определяют процессы или устройства, изменяющие один и тот же предмет труда.

Впервые системно рассмотрены технологические процессы и применяемые материалы при восстановлении основных свойств деталей.

Геометрическая точность элементов детали обеспечивается их механической обработкой. Сначала обеспечивают точность взаимного расположения поверхностей детали. При этом в первую очередь обеспечивают нормативные относительные повороты (параллельность или перпендикулярность), а во вторую – относительные расстояния. Затем восстанавливаемым элементам придают правильную форму и точность размеров. В заключение создают необходимую шероховатость поверхностей без изменения достигнутых ранее значений параметров формы и расположения.

Восстановление износостойкости поверхностей включает выбор материала покрытия и способа его нанесения, выбор термической и механической обработки, использования приработочных материалов. При этом учитывают совместимость материалов трущейся пары, обеспечивают необходимые состав и строение их поверхностных слоев и низкое сопротивление сдвигу на границе раздела трущихся тел. Последнее требование выражается правилом положительного градиента механических свойств по глубине поверхностного слоя.

Повреждения, приводящие к нарушению прочности стенок корпусных деталей и панелей, представляют собой уменьшение их толщины из-за изнашивания и трещины, разрывы и пробоины по причине усталости или аварийных нагрузок. Применяют установку и закрепление накладок и ДРД и сварку трещин.

Восстановление герметичности (непроницаемость стенок и стыков) основано на применении герметизирующих (разделительных) материалов, которые заполняют поры в стенках или зазоры в зоне контакта деталей. Разделительные материалы исключают контакт несовместимых сред – герметизируемой и окружающей. Стык уплотнения представлен неоднородным телом с градиентом деформационно-прочностных характеристик. Использована модель такого стыка в виде трехслойного элемента, обладающего свойствами жидкости, вязкоупругой среды и твердого тела [20].

Восстановление усталостной прочности и жесткости детали рассмотрено как процесс наклепа ее материала, при этом усталостная прочность восстанавливается поверхностным пластическим деформированием, а жесткость – объемным.

Упрочнение деталей рассматривается как средство уравнивания наработки их и ремонтируемого агрегата. Необходимость упрочнения возникает в том случае, когда наработка детали меньше нормативной и отстает от наработки деталей агрегата. Оно состоит в повышении долговечности элементов этой детали за счет повышения износостойкости, твердости, усталостной прочности, коррозионной стойкости и других свойств. В общем случае под упрочнением детали понимают повышение значений ее геометрических или физико-механических свойств, которые являются определяющими для обеспечения надежности ремонтируемого агрегата. Все многообразие способов упрочнения деталей сведено в три группы: 1) нанесение износостойких покрытий; 2) образование износостойких слоев; 3) пластическое деформирование материала. Операции упрочнения входят в состав процессов изготовления или восстановления деталей.

При рассмотрении видов унификации процессов восстановления деталей преимущество отдано модульному принципу как наиболее эффективному в технико-экономическом отношении.

Восстановительное производство достигает наибольшей производительности и наименьшего расхода ресурсов в результате его надлежащей организации, которая предполагает распределение работ и производственных ресурсов между предприятиями, цехами, участками и рабочими местами, расстановку рабочих и оборудования и налаживание их взаимодействия, формирование производственной структуры и руководство процессами.

Маломощные предприятия и мастерские не могут обеспечить нормативное качество восстановления деталей. Приведены условия повышения объемов восстановления деталей на одном предприятии за счет концентрации производства, его специализации и кооперации с другими предприятиями. Нормативное качество восстановления деталей достигается организацией централизованного производства с внедрением системы менеджмента качества.

Значение курса. Технический уровень восстановительного производства является характеристикой его технического совершенства. Этот показатель оценивают путем сопоставления достигнутых значений установленных показателей с их базовыми значениями. Только то производство достигает высокого технического уровня, которое располагает разнообразными современными технологиями и оборудованием для их реализации и оптимально организовано.

Изучение и использование современных средств технологического оснащения, технологических процессов и форм организации будут способствовать повышению технического уровня и эффективности восстановительного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремонт машин / Под ред. Н.Ф. Тельнова. – М.: Агропромиздат, 1992. – 560 с.
2. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
3. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
4. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
5. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 336 с.
6. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. – М.: Информтехиздат, 1995. – 296 с.
7. Усков В.П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей. – Брянск, 1998. – 589 с.
8. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин. – М.: ГОСНИТИ, 1995. – 279 с.
9. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения: В 2 т. Т. 1. – М.: Л.В.Т. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – 852 с.
10. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения: В 2 т. Т. 2. – М.: Л.В.Т. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – 688 с.
11. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 676 с.
12. Пекелис Г.Д., Гельберт Б.Т. Технология ремонта металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1984. – 240 с.
13. Гвинтовкин И.Ф., Стояненко О.М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1977. – 312 с.
14. Балякин О.К. Технология судоремонта: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1983. – 264 с.
15. Дорожкин Н.Н., Гимельфарб В.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. – Мн.: Ураджай, 1987. – 140 с.
16. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники: Учеб пособие. – Киев: УМК ВО, 1989. – 256 с.
17. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления корпусных деталей // Технология металлов. – 2001. – № 12. – С. 30 – 33.
18. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления гладких и шлицевых валов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 5. – С. 18 – 21.
19. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 336 с.
20. Пинчук Л.С. Герметология – Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 216 с.