

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.81.004.67

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доц. А.П. КАСТРЮК
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается новая концепция восстановления деталей – разработка модульных процессов восстановления деталей, повышающих эффективность ремонтно-восстановительного производства. Определены геометрические и технологические модули восстанавливаемых деталей на основании классификации их элементов. Приведено содержание технологических модулей, обеспечивающих восстановление геометрических параметров и эксплуатационных свойств конструктивных элементов деталей. Показан состав технологического процесса восстановления детали из технологических модулей и обоснована эффективность предложенной концепции. Модульное построение процессов восстановления деталей – эффективное направление их технологической унификации. В составе технологической подготовки восстановительного производства оно обеспечивает нормативный уровень качества деталей с наименьшими затратами и трудоемкостью.

Введение. Стремление повысить мобильность и эффективность производства с обеспечением нормативного качества ремонта машин требует разработки новых форм его организации. Мобильность производства предполагает освоение ремонта машин и агрегатов новых видов в кратчайшее время за счет уменьшения объема подготовки производства (в том числе количества создаваемых средств технологического оснащения). Эффективность производства связана с уменьшением расхода производственных ресурсов в основном при восстановлении деталей. Нормативное качество ремонта машин обусловлено обеспечением в заданных пределах всех показателей технической документации. Действующая организация ремонта машин направлена в основном на обеспечение нормативных значений геометрических параметров и недостаточно учитывает необходимость обеспечения эксплуатационных свойств элементов деталей.

Современные классификации частей машин, применяемые для целей их ремонта, доведены до уровня деталей. Последним структурным элементом машины считается деталь. Соответственно классификациям деталей в машиностроении действуют процессы их изготовления: единичные, типовые и групповые. Учитывая специфику ремонта, в нем дополнительно применяют подэффектные и маршрутные процессы восстановления деталей [1, 2]. Заводы и участки, выпускающие многономенклатурную продукцию, не могут готовить производство для восстановления деталей каждого наименования по единичным технологическим процессам.

Цель работы – разработка модульных процессов восстановления деталей, повышающих эффективность ремонтно-восстановительного производства.

Основная часть

Геометрические модули деталей. *Геометрический модуль детали* – ее конструктивный элемент, выполняющий элементарную служебную функцию. Например, кулачок распределительного вала служит для перемещения взаимодействующего с ним толкателя по установленному закону. Если рассматривать детали ремонтного фонда, то окажется, что при переходе от детали к детали конструктивные элементы повторяются: число восстанавливаемых конструктивных элементов деталей существенно меньше множества самих деталей. Например, корпусные детали различных агрегатов содержат стенки, стыки, отверстия под подшипники и резьбовые отверстия. Наибольшее количество элементов деталей приходится на внутренние цилиндры (около 30 %). Наружные цилиндры составляют 14 %, поверхности сложного профиля (конические и сферические) – 5 %. На внутренние и наружные резьбы приходится 12 и 2 % соответственно. Внутренние полости трех процентов деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится 15 % поверхностей и на уплотняемые стыки – 18 %. Каждому виду элементов деталей характерны свои условия работы, природа повреждения и восстанавливаемые свойства. Рассматривают такое число геометрических модулей, чтобы из них можно было составить любую деталь машины (агрегата).

Были рассмотрены основные детали агрегатов, которые оказывают наибольшее влияние на их долговечность и безопасность (таблица). Масса этих деталей составляет 75...85 % от массы агрегатов.

Геометрические модули деталей, виды нагрузок и повреждений, восстанавливаемые показатели

Элементы (геометрические модули)		Разрушающие факторы	Повреждения	Показатели	
наименование	детали			геометрические параметры	эксплуатационные свойства
1	2	3	4	5	6
Стенки	Корпусные детали	Удары, гидростатическое давление, вибрации	Пробоины, трещины	–	Статическая прочность, герметичность
Стыки плоские	Корпусные детали, гильзы, маховики, шкивы	Усилие смыкания деталей	Деформации	Плоскостность, расположение	–
Поверхности цилиндрические внутренние трущиеся	Корпусные детали, подшипники скольжения	Силы трения, химически активная среда	Деформации, износ	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	Износостойкость
Поверхности отверстий под подшипники качения	Корпусные детали, валы	Радиальные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	Износостойкость
Поверхности отверстий под подшипники скольжения	Корпусные детали, шатуны, коромысла	Радиальные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	Износостойкость
Поверхности отверстий под базирующие штифты	Корпусные детали, валы	–	Деформации	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	–
Шейки трущиеся вращающиеся	Валы, оси, пальцы	Моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	Износ, усталостные трещины	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	Износостойкость, усталостная прочность
Междушечные переходы (щеки, цилиндры)	Валы	Крутящие и изгибающие моменты	Усталостные трещины	–	Статическая и усталостная прочность
Кулачки, эксцентрики	Валы	Радиальные силы	Износ	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Торцы трущиеся плоские	Валы	Осевые силы	Износ	Плоскостность, размеры, шероховатость	Износостойкость
Фланцы с центрирующими поясками	Валы	Радиальные силы	Деформации	Цилиндричность, размеры, расположение, шероховатость	–
Отверстия центровые	Валы, оси	–	–	Расположение	–
Отверстия центральные	Зубчатые колеса, звездочки, шкивы, диски, маховики	Поперечные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	Износостойкость
Торцы трущиеся сферические	Толкатели	Осевые силы	Износ	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
Резьбы внутренние	Корпусные детали, валы	Усилия затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Резьбы наружные	Валы, оси	Усилия затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Шлицы наружные	Валы	Силы, нормальные поверхностям	Износ	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Шлицы внутренние	Зубчатые колеса, шкивы	Силы, нормальные поверхностям	Износ	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Шпоночные пазы	Зубчатые колеса, шкивы	Силы, нормальные поверхностям	Износ	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Наружные цилиндрические поверхности, движущиеся поступательно	Поршни, плунжеры, штоки	Силы трения, химически активная среда	Износ	Цилиндричность, размеры, расположение, шероховатость	Износостойкость
Внутренние цилиндрические поверхности, движущиеся поступательно	Гильзы цилиндров	Силы трения, химически активная среда	Деформации, износ, трещины	Цилиндричность, размеры, расположение, шероховатость	Износостойкость
Центрирующие пояски	Гильзы цилиндров	Радиальные силы	Деформации	Форма, размеры, шероховатость	–
Канавки под клиновые ремни	Шкивы	Силы трения	Износ, деформации	Цилиндричность, размеры, расположение, шероховатость	Износостойкость
Тела шатунов	Шатуны	Продольные силы	Деформации, трещины	–	Усталостная прочность
Плечи рычагов	Рычаги	Поперечные силы, моменты	Деформации, трещины	–	Усталостная прочность
Бойки коромысел	Коромысла	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Конические тарелки	Клапаны	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость
Зубья эвольвентные и циклоидальные	Зубчатые колеса	Контактные нагрузки	Питтинговый износ, разрушение	Форма, размеры, шероховатость	Износостойкость, усталостная прочность
Упругие элементы	Пружины, рессоры, торсионы	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры	Усталостная прочность, жесткость

Большинство конструктивных элементов участвуют в трении, поэтому восстанавливать износостойкость приходится у 60...70 % геометрических модулей. Циклическим нагрузкам подвержено 20...25 % элементов деталей, у которых необходимо восстанавливать усталостную прочность. Статическую прочность и жесткость восстанавливают у 3...5 % элементов. Доля стенок корпусных деталей, требующих восстановления герметичности, составляет 1...2 % от числа всех элементов деталей.

Технологические модули восстановления элементов деталей. Геометрическому модулю соответствует технологический модуль восстановления этого элемента. Под *технологическим модулем* восстановления элемента детали подразумеваем множество технологических операций, необходимых для восстановления одного параметра или свойства геометрического элемента.

К геометрическим параметрам относятся взаимное расположение и форма элементов, размеры и шероховатость рабочих поверхностей. Технологически легко обеспечиваются размеры и шероховатость поверхностей, несколько сложнее – форма, с трудом – расположение поверхностей. Ряд значений эксплуатационных свойств (износостойкости и циклической прочности) не регламентирован технической документацией, поэтому они не всегда обеспечиваются при восстановлении деталей.

Восстановление геометрических параметров. При черновой обработке резанием снимают основную часть операционного припуска. Если условно разделить эту операцию на две части, то вначале обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а затем – форму ее геометрических элементов. *Параметры* расположения поверхностей детали обеспечивают ее базированием (ориентированием относительно движения подачи), при этом вначале добиваются точности углового расположения поверхностей, а затем – точности расстояний. Это объясняется тем, что достижение точности относительного поворота поверхностей практически исключает возможность последующей коррекции, а достижение точности расстояния допускает компенсацию отклонений. Взаимное расположение осей шеек валов может быть улучшено пластическим деформированием их материала в результате правки. *Форму* геометрических элементов обеспечивают ориентированием обрабатываемых поверхностей ремонтной заготовки относительно направления главного движения, прямолинейностью направляющих станка и его жесткостью. Черновая обработка обеспечивает снятие равномерного по толщине припуска при последующей обработке.

Чистовая обработка обеспечивает заданную точность размеров и шероховатость поверхностей, близкую к нормативной. Чистовая обработка для шеек валов – это в большинстве случаев абразивная обработка, а для отверстий – тонкое растачивание и хонингование. Назначение отделочных операций (полирования, суперфиниширования, хонингования и др.) заключается в снятии разупрочненного слоя, образовавшегося во время предыдущей обработки резанием, и обеспечении требуемой шероховатости поверхностей.

Восстановление свойств. *Износостойкость* трущихся поверхностей деталей определяется их способностью оказывать сопротивление изнашиванию. Часто свойство является определяющим, от которого зависит послеремонтная наработка агрегата с восстановленными деталями.

Если восстановление деталей предусматривает нанесение покрытий, то одна или реже обе поверхности пары трения образуются из материалов, отличающихся от материалов новых деталей. При этом происходит экономически эффективное обеспечение необходимых свойств в ограниченном поверхностном объеме материала, участвующего в трении.

Восстановление износостойкости поверхностей включает выбор состава материала покрытия, определение видов и режимов его нанесения, термической и механической обработки и использование приработочных материалов [3]. При этом обеспечивается низкое сопротивление сдвигу на границе раздела трущихся тел с упругим деформированием выступов шероховатости.

Совместимость материалов трущихся пар выражается исключением их схватывания в случае нарушения сплошности масляного слоя. Материалы пары трения подбирают таким образом, чтобы при трении они образовывали на границе раздела поверхностей легко разрушающиеся адгезионные связи. Сочетаются материалы следующим образом: твердый материал с мягким и твердый с твердым. Следует избегать сочетания мягких и одноименных материалов. При незначительных перегрузках в таких парах образуются очаги схватывания, и происходит глубинное вырывание фрагментов материалов с их налипанием на поверхности трения.

По однородности строения материалы покрытий бывают гомогенными (однофазными) и гетерогенными (многофазными). Гетерогенные материалы обладают более высокими триботехническими свойствами, чем гомогенные. Фазы гетерогенного материала отличаются друг от друга химическим составом и свойствами и разделены границами. Непрерывная фаза по объему покрытия или его слою является матрицей, а фаза из отдельных фрагментов является упрочняющей. Высокой износостойкостью обладают покрытия (типа Г. Шарпи), структура которых состоит из частиц твердой фазы, удерживаемых в

прочной стальной, никелевой или кобальтовой матрице. Наиболее часто роль матричной фазы исполняют твердые растворы металлов. Наилучший состав стальной матрицы – смесь мартенсита с аустенитом. Соотношение составляющих смеси различное, в зависимости от соотношения статической и динамической нагрузок на деталь. Чем больше доля ударной нагрузки, тем больше должно быть аустенита. В качестве упрочняющей фазы применяют высокотвердые химические соединения: карбиды, бориды, нитриды, оксиды и интерметаллиды.

Состояние трущейся поверхности определяется значениями волнистости и шероховатости, следов обработки и их направлением относительно вектора скорости относительного перемещения поверхностей в виде смазочных «карманов». Шероховатость и волнистость поверхностей детали в процессе восстановления зависят от большого числа факторов. Основные из них – материал детали, вид и режимы обработки. Роль смазочных «карманов» в ряде случаев играют углубления на поверхности трения, выполняемые накаткой.

Статическая прочность элементов деталей. Повреждения, приводящие к нарушению прочности стенок панелей и корпусных деталей, в том числе и в нагруженных их частях, представляют собой трещины, разрывы и пробоины. Применяют сварку трещин, установку и закрепление дополнительных ремонтных деталей.

Усталостная прочность элементов деталей. Вращающиеся валы, детали подвесок и панели кузовов воспринимают циклическую нагрузку, которая приводит как к усталостному изнашиванию поверхностей, так и изломам деталей.

Усталостные повреждения развиваются с поверхности детали. Поэтому предел выносливости, в отличие от других прочностных характеристик материалов (пределов упругости, текучести и др.), во многом зависит от состояния этой поверхности. Повреждения, например, в шейках валов накапливаются при нагрузках, превышающих расчетные, неравномерного износа шеек, неравномерной подачи топлива в цилиндры и несоосности коренных опор корпусной детали. Повреждения возникают в виде микротрещин, которые, развиваясь, превращаются в макротрещины [4].

Усталостная прочность деталей зависит от их размеров, свойств материала, шероховатости поверхности, наличия в поверхностных слоях концентраторов напряжений, вида и значения остаточных напряжений. Усталостная прочность валов постепенно снижается при эксплуатации в связи с накоплением усталостных повреждений в опасных сечениях.

Шлифование шеек коленчатых валов карбюраторных двигателей приводит к удалению поверхностных слоев с усталостными повреждениями, а нанесение покрытий приводит к разгрузке наиболее напряженных слоев металла. Все это способствует восстановлению ресурса вала. Полностью удалить шлифованием разрушенные слои металла коленчатого вала дизельного двигателя в зоне галтелей затруднительно, поэтому его ресурс полностью восстановить не удастся.

Способы повышения усталостной прочности включают локализацию неопасных трещин, уменьшение шероховатости поверхности и создание наклепа в поверхностном слое (обкатыванием, дробеструйной обработкой, центробежной обработкой, чеканкой, алмазным выглаживанием). В ходе поверхностного пластического деформирования значительное количество трещин, находящихся в поверхностном слое, исчезает. Поверхностный наклеп выравнивает значения физико-механических свойств различных участков поверхности, местные растягивающие напряжения подавляются вновь созданными сжимающими напряжениями, которые повышают предел выносливости материала.

Жесткость деталей. Детали, выполняющие функции упругих элементов (пружины, рессоры, торсионы), теряют в эксплуатации часть своей жесткости и изменяют основные размеры. Уменьшение жесткости, например клапанных пружин двигателя, приводит к уменьшению его мощности и перерасходу топлива.

Сущность восстановления жесткости заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования [5]. Деформированию подвергают элемент детали, в котором действуют основные рабочие напряжения (нормальные и касательные) при работе детали. С этой целью применяют механическую (дробеструйную, обкатывание и ультразвуковую), химико-термическую и термомеханическую обработку. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений вглубь материала восстанавливаемого элемента.

Герметичность стенок деталей. Обеспечение герметичности предусматривает устранение трещин и пробоин в стенках деталей. Трещины пропитывают герметизирующими составами [6], сваривают или стягивают фигурными вставками. На пробоины устанавливают стальные накладные, закрепляемые эпоксидными композициями.

Оптимизация технологических модулей. Технологический модуль состоит из ряда операций, каждая из которых может быть представлена различными видами. Например, операция типа «нанесение покрытия» может быть представлена такими ее видами: наплавка, напыление, химическое или электро-

химическое нанесение и др. Учитывают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по качеству и производительности.

Связное подмножество разнотипных операций определяет один вариант технологического процесса. Наилучшее подмножество их определяют с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана [7], используя свойство аддитивности целевой функции по составным частям процесса. Решают рекуррентное уравнение:

$$Z_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [Z_{(i+1)-1} + Z_i],$$

где i – шаги решения; Z_i – затраты на выполнение i -й операций при условии, что они выбраны оптимальным образом; Z_{i+1} – затраты, отнесенные к $(i+1)$ -й операциям; $Z_{(i+1)-1}$ – затраты, отнесенные к присоединению $(i+1)$ -й операции процесса к i -й его операции.

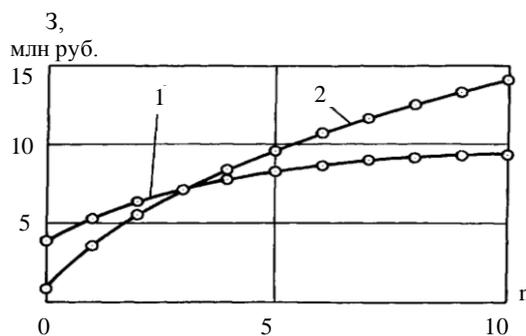
Принцип оптимальности заключается в том, что, каково бы ни было состояние системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.

Использование технологических модулей. В зависимости от видов машин, ремонтируемых на предприятии, необходимо рассматривать 30...50 геометрических модулей восстанавливаемых деталей. Количество технологических модулей будет меньшим. Каждый из этих модулей оформлен в виде оптимизированного типового технологического процесса операционного описания.

Все части технологических модулей, относящиеся к восстановлению геометрических элементов детали, войдут в процесс восстановления детали. Последовательность операций в виде их блоков подчинена накоплению и усилению необходимых параметров свойств детали под влиянием вложенных материалов и энергии в ее ремонтную заготовку.

Начальный блок операций включает предварительную обработку элементов детали резанием под установку дополнительных ремонтных деталей, напыление и нанесение гальванических покрытий. Затем наносят восстановительные покрытия и устанавливают дополнительные ремонтные детали. Если покрытия наносили с большим вложением тепла в материал заготовки, то эту операцию отделяют от остальной части процесса термической обработкой (отжигом), которая служит технологическим «барьером» для внутренних напряжений, роста зерна материала и деформации детали. Последующие блоки операций включают упрочняющую термическую (химико-термическую) обработку, поверхностное пластическое деформирование материала, чистовую обработку резанием и отделку, балансировку и восстановление массы, очистку от технологических загрязнений и контроль.

Сопоставлялись затраты на разработку технологической документации и средств технологического оснащения, связанных с подготовкой единичных и модульных процессов восстановления деталей типовалов (рисунок). При малых объемах подготовки производства затраты на разработку модульных процессов и средств (кривая 1) превышают затраты на разработку единичных процессов и средств (кривая 2). При росте объемов подготовки соотношение затрат изменяется в пользу модульных процессов и средств.



Зависимость затрат Z на разработку технологической документации и средств технологического оснащения от числа восстанавливаемых деталей n

Системный эффект от применения предлагаемой организации выражается в уменьшении трудоемкости технологической подготовки ремонтного производства. Основной методологический принцип в организации работ заключается в применении ограниченного числа технологических модулей к восстановлению неограниченного количества деталей. Модульные процессы сводят к минимуму разнообразие технологической документации и средств технологического оснащения, исключают дублирование работ

в области технологической подготовки восстановительного производства, позволяют повысить его серийность и организовать поточную организацию труда при меньших объемах выпуска продукции.

Модульное построение процессов восстановления деталей – эффективное направление их технологической унификации. В составе технологической подготовки восстановительного производства оно обеспечивает нормативный уровень качества деталей с наименьшими затратами и трудоемкостью.

Заключение. В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

- 1) предложена классификация конструктивных элементов восстанавливаемых деталей, использование которой позволяет сократить объем подготовки производства, выраженный количеством технологических документов и исполнительных агрегатов технологических машин;
- 2) определено содержание технологических модулей восстановления геометрических параметров и эксплуатационных свойств отдельных конструктивных элементов различных деталей;
- 3) эффект от использования предложенной концепции выражается в обеспечении нормативного качества восстанавливаемых деталей при меньших затратах на подготовку производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология авторемонтного производства: учеб. / А.И. Асриянц [и др.]; под ред. К.Т. Кошкина. – М.: Транспорт, 1969. – 568 с.
2. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов: учеб. / Б.С. Васильев [и др.]; под ред. В.А. Зорина. – М.: Мастерство, 2001. – 512 с.
3. Богданович, П.Н. Трение и износ в машинах: учебник / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак. – Минск: Выш. шк., 1999. – 374 с.
4. Завистовский, В.Э. Физика отказов механических систем: учеб. пособие / В.Э. Завистовский, О.В. Холодилов, П.Н. Богданович. – Минск: Технопринт, 1999. – 212 с.
5. Рудик, Ф.Я. Электромеханическая обработка клапанных пружин / Ф.Я. Рудик, С.Ю. Элькин, В.Ф. Кузнецов // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 1. – С. 22 – 24.
6. Пинчук, Л.С. Герметология / Л.С. Пинчук. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 216 с.
7. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман; пер. с англ. – М.: Иностран. лит., 1960. – 400 с.

Поступила 04.06.2010

NEW CONCEPT OF COMPONENTS RESTORATION

V. IVANOV, A. KASTRUK

Geometrical and technological modules of restored components on the basis of their elements classification are determined. Process modules content for ensuring geometrical parameters and running abilities of structural components restoration are given. Composition of technological process for component restoration from process modules is presented, efficiency of the suggested concept is grounded.