

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ

В. П. ИВАНОВ, д-р техн. наук, проф.  
(Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь)

Вследствие ограниченных государственных запасов топлива и материалов не представляется возможным обеспечить достаточное воспроизводство парка машин силами машиностроения, поэтому наряду с его сохранением, требуется развитие ремонтного производства, сберегающего труд, материалы и энергию.

Ремонтно-обслуживающее производство Беларуси включает в себя свыше 40 специализированных заводов республиканского или областного подчинения. Например, для поддержания парка машин в работоспособном состоянии необходимо ежегодно ремонтировать около 11 тыс. тракторов, 13 тыс. зерноуборочных и 3,5 тыс. кормоуборочных комбайнов, 6 тыс. машин для внесения минеральных удобрений. Годовая потребность только в ремонтах тракторных двигателей составляет свыше 13 тыс. ед.

Экономическая целесообразность ремонта обусловлена тем, что около четверти всех деталей изношены в допустимых пределах и могут быть использованы повторно, а около половины деталей могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15...30 % от цены новых деталей. Восстановление деталей является основным источником экономической эффективности ремонта.

Совершенствование организации восстановления изношенных деталей осуществлялось на основе технологической унификации процессов. Для этого выполнялись декомпозиция восстанавливаемых деталей на конструктивные элементы и их классификация; определение множества восстанавливаемых свойств конструктивных элементов деталей; формирование технологических модулей по восстановлению отдельных свойств элементов деталей; составление об-

щих процессов восстановления отдельных деталей.

## Виды восстанавливаемых элементов деталей

Наибольшее количество поверхностей деталей ремонтируемых агрегатов приходится на внутренние цилиндры — 25...35 %. Наружные цилиндрические поверхности составляют 10...20 %, поверхности сложного профиля (конические и сферические) около 5 %. На резьбы внутренние и наружные приходится, соответственно, 10...15 % и 1...2 %. Внутренние полости трех процентов деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится около 15 % поверхностей и на стыки — около 20 % поверхностей.

Многообразие восстанавливаемых объектов сокращается при переходе от деталей к их элементам (таблица). При назначении

Основные конструктивные элементы деталей, их характеристика и свойства

Наименование	Виды нагрузок	Характер повреждений	Восстанавливаемые свойства
Стенки	Удары, гидростатическое давление, вибрации	Пробоины, трещины	Прочность, герметичность
Шейки	Моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	Износ, усталостные трещины	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Торцы трущиеся	Осевые силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Стыки	Усилие смыкания деталей	Деформации	Плоскостность, параметры расположения
Бобышки с гладкими отверстиями	Поперечные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Отверстия резьбовые, резьбы наружные	Усилие затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость
Фаски конические	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Зубья	Контактные нагрузки	Питинговый износ, разрушение	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Кулачки, эксцентрики, шлицы	Поперечные и нормальные силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Элементы упругие	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры, усталостная прочность, жесткость

способа восстановления элемента детали учитывают его материал, форму и размеры, виды повреждений и ограничения по качеству.

### Свойства восстанавливаемых деталей

Восстановление деталей включает в себя технологические процессы возобновления их исправного состояния и ресурса путем возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и (или) доведения до нормативных значений свойств, изменившихся за время эксплуатации машин.

До нормативных значений доводят следующие свойства: чистоту поверхностей, износостойкость трущихся элементов, герметичность стенок, прочность элементов, усталостную прочность, жесткость упругих деталей, взаимное расположение и форму элементов, размеры и шероховатость рабочих поверхностей, значение массы детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции, коррозионную стойкость.

Каждое свойство является одной из характеристик качества восстановленной детали. При восстановлении детали обеспечивают нормативные значения функциональных и ресурсных показателей, причем, функциональные показатели характеризуют исправность детали, а ресурсные — степень восстановления технического ресурса.

### Содержание технологических модулей восстановления основных свойств деталей

**Чистоту поверхностей** восстанавливают очисткой их от эксплуатационных и технологических загрязнений, из-за разнообразия видов загрязнений и разных значений их прочности требуется дифференцированный подход к назначению технологических воздействий для отделения этих загрязнений. Наибольшие трудности доставляет очистка поверхностей от прочных загрязнений (нагара и накипи). Наиболее эффективная очистка от этих загрязнений (рисунок) — это очистка растворением в кислотных растворах или путем дробления загрязнений потоком стеклянных шариков или косточковой крошки.

Восстановление **износостойкости** детали включает в себя выбор материала покрытия, способа его нанесения, вида и режимов термической, химико-термической, термомеханической и механической обработки. При этом учитывают совместимость трущихся материалов, 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 [1].

Наиболее высокими эксплуатационными свойствами обладают гетерогенные покрытия, износостойкость которых зависит от механических свойств, соотношения и формы расположения структурных составляющих покрытия. Проектирование структуры износостойкого покрытия предполагает внедрение частиц твердой карбидной, боридной или нитридной фазы в высокопрочную стальную, никелевую или кобальтовую матрицу.

Основные пути получения гетерогенных покрытий следующие [2]:

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных насыщенных твердых растворов и их последующая гетерогенизация при термической обработке;

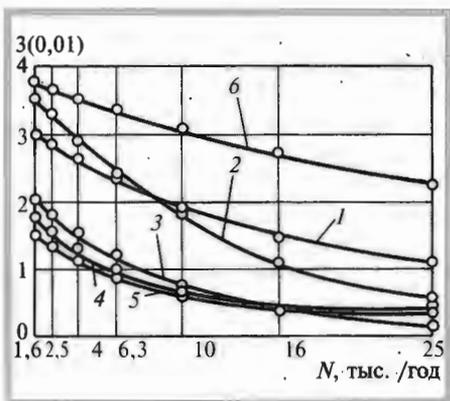
- сохранение исходного композиционного строения частиц в покрытии при отсутствии их полного расплавления;

- введение дисперсной упрочняющей фазы в наносимое покрытие.

Применительно к абразивному изнашиванию условия, обеспечивающие повышение износостойкости сводятся к увеличению трущейся поверхности и измельчению структуры материала, наличию в структуре твердых мелкодисперсных включений карбидов и нитридов. Износостойкость существенно повышается путем вкрапления твердых частиц в стальную матрицу. Важно, чтобы отношение твердости материала на шейке вала и вкрапленных частиц было не менее 0,7 [3]. Повышение износостойкости поверхности обеспечивают, например, внедрением в стальную ленту покрытия толщиной 0,3...0,5 мм с содержанием углерода не более 0,5 % частиц твердых сплавов групп ВК и ТК, а также безвольфрамовых сплавов типа КХН и ПТЖ толщиной покрытия 0,3...0,5 мм.

Слои восстановительного покрытия располагают по принципу положительного градиента механических свойств [3]. Трение металлов сопровождается низкими скоростями изнашивания в том случае, когда значения механических свойств поверхностного слоя возрастают в направлении от поверхности в глубь металла.

**Герметичность** стенок деталей восстанавливают их пропиткой твердеющими составами, а герметизация стыков деталей основана на заполнении зазоров в соединениях разделительными средами, препятствующими утечке герметизируемых сред [4]. В наибольшей мере требованиям, предъявляемым к герметизирующим материалам, отвечают полимерные герметики. По ряду показателей (прочности, упругости, вязкости) они занимают промежуточное место между жидкостью и твердым телом. Наибольшее применение получили терморезистивные герметики, которые необратимо переходят из исходного текучего состояния в эксплуатационное эластическое вследствие образования



Зависимость затрат  $Z$  (в сотых долях минимальной заработной платы) при различных объемах ремонта агрегатов  $N$  на отделении прочных загрязнений с комплекта деталей различными способами:

1 — периодическим погружением в раствор карбонатной соды; 2 — в расплаве щелочей и солей; 3 — в 15%-ном растворе соляной кислоты; 4 — потоком косточковой крошки; 5 — потоком стеклянных шариков; 6 — в растворяюще-эмульгирующем средстве

химических связей. К ним относятся: вулканизирующиеся материалы на основе каучуков; составы на основе олигомеров с реакционноспособными группами OH, CO-OH, SH, NCO и др.; анаэробные герметики на основе смол акрилового или метакрилового ряда, полимеризующиеся при отсутствии кислорода в зазорах соединений.

Нарушение **прочности** стенок панелей и корпусных деталей, в том числе и в нагруженных их частях, выражается в виде повреждений, представляющих собой трещины, разрывы и пробоины. Применяют сварку трещин, установку и закрепление дополнительных ремонтных деталей и установку фигурных стяжных вставок.

Знакопеременную нагрузку воспринимают вращающиеся валы, детали подвесок и кузовов. Среди вращающихся деталей наиболее подвержены усталостному разрушению коленчатые валы. Усталостные повреждения вначале проявляются в виде микротрещин, которые превращаются в макротрещины.

Усталостные разрушения развиваются с поверхностного слоя. Поэтому **предел выносливости** в отличие от других прочностных характеристик (жесткости, пределов упругости, текучести и прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали.

Трещины, в зависимости от места их расположения, оказывают разное влияние на предел выносливости валов [5]. Опасные трещины расположены: на галтелях шеек и на их цилиндрической части на расстоянии менее 6 мм от торцев шеек; на кромках отверстий масляных каналов при длине более 15 мм и расположенные под углом 30° к оси шейки; на расстоянии менее 10 мм друг от друга. Детали с перечисленными повреждениями подлежат выбраковке. Неопасными являются: продольные трещины (не более трех) длиной более 5 мм на поверхности каждой коренной шейки; не выходящие в зону галтели и находящиеся на расстоянии более 10 мм друг от друга; расположенные под углом менее 30° к оси вала.

Трещины, отнесенные к разряду неопасных, подлежат разделке

абразивным кругом по всей длине для образования канавки радиусом 1,5 мм и глубиной 0,2...0,4 мм, т. е. заведомо меньшей глубины залегания трещины. Острые кромки притупляют по периметру. Трещина не появится вновь при эксплуатации детали, если в зоне канавки будет создан наклеп. Ложе канавки у разделанной трещины упрочняют виброударным инструментом в течение 5...8 с для создания сжимающих напряжений. Наклеп производят с помощью пневматического инструмента (марок 57, КМП-14М, КМП-2М) с энергией удара 2,5...5 Дж. Местное упрочнение является эффективной мерой по восстановлению нарушенного упрочненного слоя после снятия разрушенного металла в зоне концентраторов напряжений.

Наплавка галтели и цилиндрической части восстанавливаемой шейки проволоками разного химического состава сохраняет ее усталостную прочность. Галтель наплавляют проволокой Св-08 под флюсом АН-348, а цилиндрическую часть шейки — проволокой Нп-30ХГСА, ПП-АН-122 или ПП-АН-128 под смесью флюсов (30 % АН-348 + 70 % АНК-18). При этом твердость металла составляет значения, соответственно, 20...24 и 50...56 НRC. После наплавки зону галтелей шлифуют по радиусу, равному радиусу закругления у нового вала, с углублением в тело шейки на 0,4...0,5 мм. Полезно зону галтелей после шлифования обработать дробью.

Перед установкой и приваркой дополнительных ремонтных деталей в виде стальных закаленных полуколец на шейки коленчатого вала из высокопрочного чугуна необходимо нанести разгружающие выточки на галтелях в плоскости, перпендикулярной плоскости кривошипа.

Усталостную прочность повышают наклепом за счет обкатывания, дробеструйной или центробежной обработки, чеканки и выглаживания.

Сущность восстановления **жесткости** заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования. Для этой цели

применяют механическую, химико-термическую и термомеханическую обработки. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений в глубь материала восстанавливаемого элемента.

Вследствие пластической деформации в поверхностном слое детали возникают ориентированные в разных плоскостях дислокации, повышение плотности которых служит препятствием для их перемещения, что приводит к повышению реальной прочности материала.

Для восстановления жесткости пружин, торсионов и рессорных листов применяют дробеструйную обработку, в результате которой поверхностный слой металла наклепывается на глубину 0,2...0,6 мм. Предварительная химико-термическая обработка и закалка ТВЧ повышает глубину наклепа в 2,0...2,5 раза, что обеспечивает объемное воздействие механической обработки на материал детали. Применяют комбинированную обработку нагревом и пластическим объемным деформированием путем обкатывания [6].

Точностные параметры взаимного **расположения поверхностей и осей, формы, размеров и шероховатости** элементов деталей восстанавливают путем механической обработки.

В порядке следования технологического процесса восстановления детали в первую очередь восстанавливают параметры расположения элементов деталей и их форму, затем точность линейных и угловых размеров и в заключение — шероховатость поверхностей. Выбранный комплект баз должен обеспечить в первую очередь точность относительных поверхностей восстанавливаемых поверхностей (их параллельность или перпендикулярность), а только затем — относительные расстояния.

Погрешности относительного расположения и погрешности формы подчиняются закону Рэлея. Точность формы обработанных поверхностей зависит от жесткости металлорежущего оборудования, оснастки и обрабатываемой детали и точности рабочих движений, а точность взаимного распо-

ложения поверхностей — от выбора и смены технологических баз.

В общем случае выбор технологических баз при механической обработке восстанавливаемых деталей подчиняется следующему правилу. Во всех установках технологические базы, как правило, должны совпадать с измерительными, а обработанные поверхности на данном станке должны быть использованы в качестве измерительных баз для последующего станка. Поверхности, которые будут применяться в качестве измерительных баз, обрабатываются первыми.

Равенство значений масс отдельных деталей, двигающихся возвратно-поступательно, и распределение масс вращающихся деталей относительно осей их вращения и инерции имеет большое значение для уравнивания работающих агрегатов, собранных из этих деталей.

Вращающаяся деталь является полностью **уравновешенной**, если результирующая сила инерции и момент инерции равны нулю.

Условия полной уравновешенности такой детали:

$$Mr_s = \sum_{i=1}^k m_i r_i = 0, \text{ или } r_s = 0;$$

$$J_{lr} = \sum_{i=1}^k m_i l_i r_i = 0,$$

где  $M$  — масса детали;  $r_s$  — расстояние от центра масс детали до оси ее вращения;  $J_{lr}$  — центробежный момент инерции;  $m_i$ ,  $r_i$  и  $l_i$  — соответственно, масса элемента детали, расстояние от центра его масс до оси вращения детали и плечо действия центробежной силы элемента относительно оси, проходящей через центр масс детали;  $i = 1...k$  — число конструктивных элементов детали.

Способы статической балансировки состоят в совмещении центра масс детали с осью ее вращения путем снятия излишнего металла или установки противовеса. Балансировку ведут на роликах, горизонтальных призмах, качающихся дисках, весах и на станках.

Динамической балансировке подвергают сборочные единицы, вращающиеся при работе агрегата в двух и более опорах. Такая балансировка состоит в выборе двух

плоскостей коррекции, определенной в каждой из этих плоскостей направления и величины дисбалансов и их уравнивания путем высверливания металла или закрепления груза. Рационально применение для динамической балансировки станков моделей МС-9715 или МС-9716, работающих в резонансном режиме.

Сохранение поверхностей деталей, соприкасающихся с влагой и солевыми отложениями, обеспечивается нанесением на них как лакокрасочных покрытий, так и специальных **противокоррозионных** составов.

Поливинилхлоридные пластики, нанесенные на наружные поверхности, обеспечивают их защиту в течение 3...7 лет. Широко применяется пластик Д-11А. Материал наносят способом безвоздушного распыления и высушивают в течение 30 мин при температуре 130 °С. Покрытия создают звукоизоляцию.

Закрытые полости коробчатых листовых деталей кузова покрывают противокоррозионным материалом изнутри сплошной пленкой с помощью безвоздушного распыления. Состав типа "Tectyl-ML" по технологии фирмы "Valvoline" (Швеция) наносит фирма "Арлюсар" (Минск). Известны и другие материалы для антикоррозионных покрытий: Dinol, Noxutol, Rust-stop, Алкип, Оксидол, Мовиль.

Работа [7] подчинена сокращению объема однотипных работ при технологической и организационной подготовке восстановительного производства путем приведения его к типовому или модульному [8] видам, как наиболее прогрессивным в технико-экономическом отношении.

Организация процессов восстановления деталей, основанная на классификации их элементов, учитывает соответствующие характерные повреждения и совокупность восстанавливаемых параметров и включает разработку технологических модулей восстановления геометрических и физико-механических свойств элементов разнотипных деталей и составление модульных технологических процессов восстановления конкретных деталей.

Оптимизированные технологические операции по восстановлению каждого свойства рассматриваемых деталей в виде технологических модулей состоят из множества многократно применяемых операций, необходимых для восстановления одного свойства элемента детали. Множество модулей ограничено количеством восстанавливаемых свойств деталей.

Построение модульного технологического процесса восстановления любой детали представляет собой его компоновку из технологических модулей восстановления отдельных свойств элементов детали. Каждый технологический модуль обеспечивают соответствующим типовым оборудованием, модульными приспособлениями, инструментами и средствами измерений.

При разработке технологического процесса восстановления детали учитывают, что следование технологических модулей в этом процессе подчинено накапливанию и усилению необходимых свойств детали под влиянием вложенных материалов и энергии в ее ремонтную заготовку. Все операции процесса рассматривают в их взаимосвязи, потому что формирование конечных свойств поверхностей происходит на протяжении всего процесса восстановления детали.

Влияние предшествующих операций на конечные свойства восстанавливаемых деталей выражается технологической наследственностью. Первые операции процесса обычно влияют на эти свойства слабее, чем заключительные. За форму и взаимное расположение поверхностей в наибольшей степени отвечают первые операции механической обработки, за размеры и шероховатость — последние, за износостойкость — материалы, операции нанесения покрытий и термической обработки, за усталостную прочность и жесткость термические операции и поверхностное пластическое деформирование. Технологическая наследственность по шероховатости поверхности, например, значительно проявляется на операциях предварительной и черновой обра-

ботки, однако на заключительных операциях копирование исходной шероховатости угасает. Существенно наследуются параметры формы и расположения поверхностей.

На пути наследования нежелательных свойств располагают технологические "барьеры". Например, все технологические операции, связанные с вложением тепла в материал заготовки, должны быть объединены в одной части технологического процесса и отделены от последующих операций термической обработкой. Эта операция после нанесения покрытия служит технологическим "барьером" для внутренних напряжений, роста зерна материала и деформации детали.

Системный эффект от применения предлагаемой организации выражается в уменьшении трудоемкости технологической подготовки ремонтного производства. Основной принцип организации заключается в применении ограниченного количества типовых и модульных технологических операций к восстановлению неограниченного количества деталей.

Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования, реконструкция производства при этом может выполняться поэтапно; средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового оборудования. Возможно перепрофилирование производства при его расширении и создание многономенклатурного восстановительного производства с сокращенными сроками их освоения. Особую актуальность это направление приобретет в настоящих условиях при отсутствии централизованного финансирования и нежелания нарождающегося бизнеса вкладывать средства в долгосрочные проекты.

Таким образом, модульное построение процессов восстановления деталей — эффективное направление их технологической унификации. В составе технологической подготовки восстановительного производства оно обеспечивает нормативный уровень качества деталей с меньшими затратами и трудоемкостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович П. Н., Прушак В. Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов. — Минск: Выш. шк., 1999. — 374 с.
2. Константинов В. М., Пантелеенко Ф. И. Концепция синтеза экономно-легированных защитных слоев из диффузионно-легированных сплавов // Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции по сварочному производству промышленных предприятий, объектов энергетики и строительства. — Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2002. — С. 149—154.
3. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. — М.: Машиностроение, 1976. — 271 с.
4. Пичук Л. С. Герметология. — Минск: Наука і тэхніка, 1992. — 216 с.
5. Лялякин В. П. Методы повышения ресурса деталей дизельных двигателей при их восстановлении: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. / ВНИИТУВИД. М., 1996. — 54 с.
6. Рудик Ф. Я., Элькин С. Ю., Кузнецов В. Ф. Электромеханическая обработка клапанных пружин // Вестник машиностроения. — 2001. — № 1. — С. 22—24.
7. Иванов В. П. Организация восстановления изношенных деталей машин // Восстановление, ремонт, модернизация. — 2002. — № 6. — С. 2—7.
8. Базров Б. М. Концепция модульного построения механосборочного производства // Стандарты и качество. — 1986. — № 11. — С. 16—19.

УДК 658.012.011.56:658.512

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОВАРИАНТНОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Ю. М. КАЗАКОВ, В. В. НАДУВАЕВ, канд. техн. наук  
(Брянский государственный технический университет)

**З**адачи повышения качества изделий и эффективности конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) в условиях рыночной конкуренции являются одними из важнейших. При этом качество изделий во многом определяется обоснованностью принимаемых проектных решений.

Одним из направлений повышения эффективности КТПП яв-

ляется применение современных информационных технологий для интеграции процессов в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов (рис. 1). Исследования в области технологической подготовки производства (ТПП) показывают, что наибольший эффект может быть получен при комплексном решении задач, однако для этого требуется учет большого

количества критериев качества этапов изготовления и эксплуатации.

Проблема поиска оптимальных проектных решений актуальна на этапе КТПП при оценке технологичности изготовления и т. д. Наличие сложных системных связей между задачами конструкторской и технологической подготовки производства практически не позволяет разделить их на отдельные системы.