

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ

В.Л. Иванов,

доктор
технических наук,
профессор
кафедры
«Технология
конструкционных
материалов».

Полоцкий
государственный
университет

Одно из направлений совершенствования восстановительного производства связано с декомпозицией восстанавливаемых деталей на конструктивные элементы и их эксплуатационные свойства и разработкой технологических модулей их восстановления. Особенность этого направления заключается в применении ограниченного числа технологических модулей для восстановления неограниченного множества деталей.

Приведено содержание технологических модулей для восстановления наиболее часто восстанавливаемых свойств деталей и обоснован метод формирования общего процесса их восстановления.

Использование результатов работы обеспечивает достижение нормативных показателей качества восстановленных деталей с уменьшением сроков и трудоемкости технологической подготовки восстановительного производства.

Ограниченные государственные запасы топлива и материалов в Беларуси не могут обеспечить достаточное воспроизводство парка машин силами машиностроения и, наряду с его сохранением, требуют развития ремонтного производства, которое сберегает много живого и овеществленного труда. Функции ремонтного производства заключаются в экономически обоснованном устранении неисправностей и восстановлении ресурса машин, т.е. во вторичном производстве техники из ее ремонтного фонда. Это производство обладает существенными отличиями от машиностроительного производства, что определяет необходимость организации его специфичных процессов, в том числе восстановления свойств, утраченных машинами за время их длительной эксплуатации.

Различные детали и узлы машин имеют неодинаковый ресурс. Машина, спроектированная в виде устройства с равноресурсными элементами, не может реализовать это свойство в различных условиях эксплуатации. Потребность в ремонте возникает в различные моменты эксплуатации, а капитальный ремонт обеспечивает нормативную безотказность машин в течение послеремонтного срока их службы. Ремонт позволяет использовать сохранившуюся потребительскую стоимость в виде остаточной долговечности. Досрочная замена машины приводит к не востребованной части ее стоимости. Ремонт, проводимый совместно с модернизацией машины, позволяет сблизить сроки ее физического и морального износа, повысить технический уровень или приспособить к новым потребностям производства. Модернизация машины достигается использованием более совершенных

агрегатов или их частей, выпускаемых машиностроительными заводами.

Ремонтно-обслуживающее производство страны включает свыше 40 специализированных заводов республиканского или областного подчинения. Объемы ремонта машин велики. Например, для поддержания количественного состава парка машин и их исправности 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 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 сохраняет большое количество материалов, энергии и труда и является основным источником экономической эффективности ремонта.

Цель работы заключалась в разработке совершенной организации восстановления изношенных деталей на основе технологической унификации процессов.

Восстановление изношенных деталей включает технологические процессы возобновления исправного состояния и ресурса этих деталей 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 показатели:

- чистоту поверхностей;
- износостойкость трущихся элементов;
- сплошность и 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. Функциональные показатели характеризуют исправность детали, а ресурсные — степень восстановления технического ресурса.

Чистоту поверхностей восстанавливают очисткой их от эксплуатационных и технологических загрязнений. Разнообразие видов загрязнений и разные значения их адгезии и когезии требуют дифференцированного подхода к назначению технологических воздействий для отделения этих загрязнений. Наибольшие трудности доставляет очистка поверхностей от прочных загрязнений (нагара и накипи). Наиболее эф-

фективная очистка от этих загрязнений (рис. 1) — это очистка растворением в кислотных растворах или путем дробления загрязнений потоком стеклянных шариков или косточковой крошки.

Большинство деталей достигают предельного состояния по причине изнашивания. Задача восстановления износостойкости детали включает выбор материала покрытия, способа его нанесения, вида и режимов термической, химико-термической, термомеханической и механической обработки. Эти операции обеспечивают получение необходимых параметров:

- химического состава, структуры и фазового состава материала покрытия;
- твердости поверхности нанесенного покрытия (в зависимости от количества его слоев, скорости охлаждения);
- значения и знака остаточных напряжений на рабочих поверхностях;
- микрорельефа и шероховатости поверхности после обработки.

Наиболее высокими эксплуатационными свойствами обладают гетерогенные покрытия, износостойкость которых зависит от механических свойств, соотношения и формы расположения структурных составляющих покрытия. Структура износостойкого гетерогенного покрытия состоит из частиц твердой карбидной, боридной или нитридной фазы, удерживаемых в высокопрочной стальной, никелевой или кобальтовой матрице. Основные пути получения гетерогенных покрытий следующие [1]:

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пресыщенных 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 [2]. Повышение износостойкости поверхности

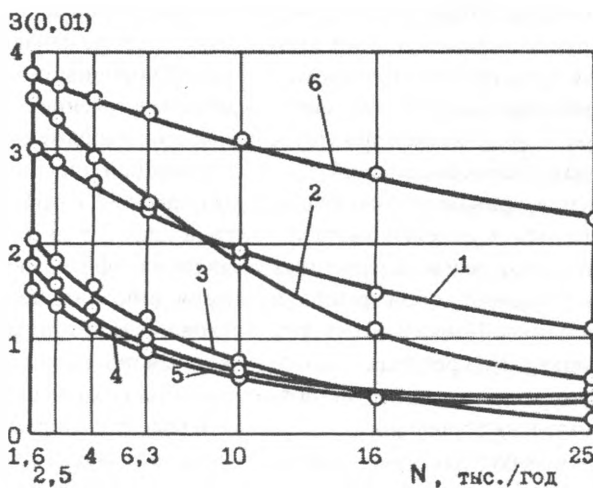


Рис. 1. Зависимость затрат Z (в сотых долях минимальной заработной платы) при различных объемах ремонта агрегатов N на отделение прочных загрязнений различными способами: 1 — периодическим погружением в раствор каустической соды; 2 — в расплаве щелочей и солей; 3 — в 15%-ном растворе соляной кислоты; 4 — потоком косточковой крошки; 5 — потоком стеклянных шариков; 6 — в растворе растворяюще-эмульгирующих средств

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 размером 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.

Сплошность и герметичность стенок деталей восстанавливают пропиткой негерметичных стенок деталей твердеющими составами. 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 химических связей. К ним относятся: вулканизирующиеся материалы на основе каучуков; составы на основе олигомеров с реакционноспособными группами ОН, СООН, SH, NCO и др.; анаэробные герметики на основе смол акрилового или метакрилового ряда, полимеризующиеся при отсутствии кислорода в зазорах соединений.

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 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 вынос-

ливости в отличие от других прочностных характеристик (жесткости, пределов упругости, текучести и прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали. Уменьшение шероховатости контактирующих поверхностей уменьшает удельные нагрузки в контакте, тем самым и изнашивание.

Трещины, в зависимости от места их расположения, оказывают разное влияние на предел выносливости коленчатого вала [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 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 безопасных, 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, чем глубина залегания трещины. Острые кромки следует притупить 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, КМП14М, 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.

Для сохранения усталостной прочности восстанавливаемой шейки рекомендована наплавка ее цилиндрической части и галтели проволоками разного химического состава. Так, галтель наплавляют проволокой Св-08 под флюсом АН-348, а цилиндрическую часть — проволокой Нп-30ХГСА под смесью флюсов (30% АН-348 + 70% АНК-18). При этом твердость металла составляет значения соответственно 20...24 и 50...56 HRC. Предусмотрена наплавка цилиндрической части шейки вала,

исключая галтель. В этом случае применяют порошковую проволоку ПП-АН 122 или ПП-АН-128 или проволоку Нп-30ХГСА и смесь флюсов АН-348 и АНК-18. 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 ДРД 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 восстанавливаемых деталей повышают наклепом, который создает в поверхностном слое металла сжимающие остаточные напряжения. Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание, дробеструйную обработку, центробежную обработку, чеканку, выглаживание. Эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их чеканка. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, которые приводятся в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при использовании чеканки увеличивается в несколько раз по сравнению с обкаткой.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Структура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40%. Термически обработанные стали, имеющие твердость HRC 40...45, в процессе наклепа увеличивают ее всего на 5...10%.

Сущность восстановления жесткости заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования. Для этой цели применяют механическую, химико-термическую и термомеханическую обработку. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений в глубь материала восстанавливаемого элемента.

Дробеструйная обработка применяется для восстановления жесткости пружин, торсионов и рессорных листов. При этом поток дроби (стальной, чугунной, стеклянной) диаметром 0,6...1,2 мм направляется на обрабатываемую деталь со ско-

ростью до 100 м/с, в результате чего поверхностный слой наклепывается. Вследствие пластической деформации в поверхностном слое детали возникают не только параллельные, но и ориентированные в разных плоскостях и направлениях несовершенства кристаллического строения — дислокации. Повышение плотности дислокаций служит препятствием для их перемещения, что приводит к повышению реальной прочности материала. Кроме того, образуется большое количество линий сдвига, дробятся блоки мозаичной структуры. Это вызывает упрочнение поверхностного слоя металла на глубину 0,2...0,6 мм, шероховатость поверхности при этом достигает значений $R_z = 40...20$ мкм. Предварительная химико-термическая обработка и закалка ТВЧ повышают 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].

Высокотемпературная механическая обработка, связанная с температурой нагрева выше температуры рекристаллизации, приводит к деформированию аустенита, а низкотемпературная — происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации, что приводит к деформированию мартенсита.

На шлифе витка пружины, восстановленной термомеханическим способом, видны две зоны — мелкодисперсного мартенсита и сорбита отпуска. Наличие на поверхности восстановленной пружины мелкодисперсного мартенсита снижает тенденцию развития усталостных трещин, а также замедляет развитие сдвиговых и диффузионных процессов релаксации напряжений. До глубины поверхностного слоя 0,8 мм формируются остаточные напряжения сжатия.

Восстановление точностных параметров взаимного расположения поверхностей и осей, формы, размеров и шероховатости элементов в процессе восстановления их деталей ведут путем механической обработки упрочняет поверхности путем создания на них наклепа.

В порядке ведения 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 поворотов 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 расположения 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 установе должны быть использованы в качестве измерительных баз для последующего установа. Поверхности, которые будут применяться в качестве измерительных баз, обрабатываются первыми.

Все многообразие факторов, влияющих на шероховатость восстанавливаемых поверхностей, можно свести в три группы: причины, связанные с геометрией процесса резания; пластическая и упругая деформациями обрабатываемого материала и возникновение вибраций режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Образование неровностей вследствие геометрических причин объясняют как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий и зерен. Форма и взаимное расположение неровностей в виде обработочных рисок определяются формой и состоянием режущих лезвий и теми элементами режима резания, которые влияют на изменение траектории режущих лезвий относительно обрабатываемой поверхности. В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрации искажают геометрически правильную форму неровностей, нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной мере увеличивают их высоту. В ряде случаев пластическое деформирование и вибрации вызыва-

ют продольную шероховатость, достигающую значительных размеров, и увеличение поперечной шероховатости.

Наибольшее влияние на развитие пластической деформации при точении оказывает скорость резания. Малые скорости резания (до 1 м/мин) приводят к небольшому повышению температуры и способствуют образованию элементной стружки. Неровности на обработанной поверхности незначительны. При скоростях резания 20...40 м/мин наблюдается наибольшая шероховатость за счет образования нароста металла на резце. В зоне скоростей более 70 м/мин нарост не образуется, а шероховатость поверхности оказывается минимальной.

При шлифовании в режиме полного самозатачивания зерен параметр шероховатости R_z увеличивается пропорционально увеличению номера зернистости абразивного материала.

Равенство значений масс одноименных 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:

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

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

где M — масса детали; r_s — расстояние от центра масс детали до оси ее вращения; J_{ir} — 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. Определяют направление дисбаланса — линию, которая проходит через ось вращения детали и центр неуравновешенной массы. Затем излишний металл снимают в удобном месте на этой линии, по одну сторону с неуравновешенной массой от оси вращения, или добавляют металл, если неуравнове-

шенная масса находится по другую сторону от оси вращения детали. 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, определении 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 зарезонансном режиме.

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

Поливинилхлоридные пластизоли, нанесенные на наружные поверхности, обеспечивают их защиту в течение 3...7 лет. Широко применяют пластизол 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» наносит фирма «Арлюсаро» (Минск). Известны и другие материалы для антикоррозионных покрытий: Dinol, Noxutol, Rust-stop, Алкип, Оксидол, Мовиль. По итогам тестов, организованных журналом «За рулем», ведущее место заняли препараты швейцарской фирмы «Waxoyl».

Организация восстановления деталей на принципах технологической унификации на универсальных участках требует проведения работ по классификации деталей и их элементов. Работы по классификации ремонтируемых объектов проводят для конкретных ремонтных предприятий.

Выделение классификационных групп восстанавливаемых объектов подчинено цели сокращения объема однотипных работ при технологической и организационной подготовке восстановительного производства путем приведения его к типовому или модульному видам, как наиболее прогрессивным в технико-экономическом отношении.

В качестве классификационных признаков выбирают виды рабочих поверхностей деталей, на которых создают припуски для последующей механической обработки с сопутствующей термической обработкой. Рассматриваемое множество деталей C_{ij} представляют матрицей вида:

$$C_{ij} = \begin{vmatrix} F_1 & F_1 & \dots & F_n \\ C_{11} & C_{11} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & C_{m1} & \dots & C_{mn} \end{vmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix}$$

где $F=(F_1, F_2, \dots, F_n)$ — множество классификационных признаков деталей; $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ — множество деталей; $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$; C_{ij} — переменная, принимающая значение 1, если деталь имеет признак F_j , или 0, если такой признак отсутствует.

Фактор объективности при классификации деталей требует применения количественного критерия для разделения их на классификационные группы. Рассчитывают коэффициент подобия деталей K_n в каждой их паре как отношение числа совпадающих признаков n_1 к общему числу различающихся между собой признаков деталей этой пары n_2 :

$$K_n = n_1 / n_2.$$

В одну классификационную группу должны входить детали, у которых не менее половины признаков одинаковые. Вначале находят детали с полным совпадением классификационных признаков, т.е. для которых $K_n = 1$. Затем эти группы дополняют деталями, совпадающими с каждой из ранее введенных групп не менее как половиной признаков. Если отдельную деталь можно отнести к нескольким группам, то предпочтение отдают той группе деталей, с которой данная деталь имеет наибольшее среднее арифметическое коэффициентов подобия. Оставшиеся детали группируют в новые подмножества с учетом приведенных принципов.

Например, основные детали двигателя внутреннего сгорания могут быть сведены в следующие группы (рис. 2): 2 — 3 — 6 — 51; 1 — 4 — 25 — 29 — 30 — 31 — 32 — 33 — 34 — 39 — 40 — 43 — 44 — 45 — 48; 9 — 10 — 17; 8 — 23 — 36 — 37 — 47; 5 — 27 — 38; 11 — 14 — 15; 7 — 21 — 24; 19 — 20; 26 — 28; 12 — 18 — 35. Эти группы деталей определяются совокупностями признаков:

1. Детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми по-

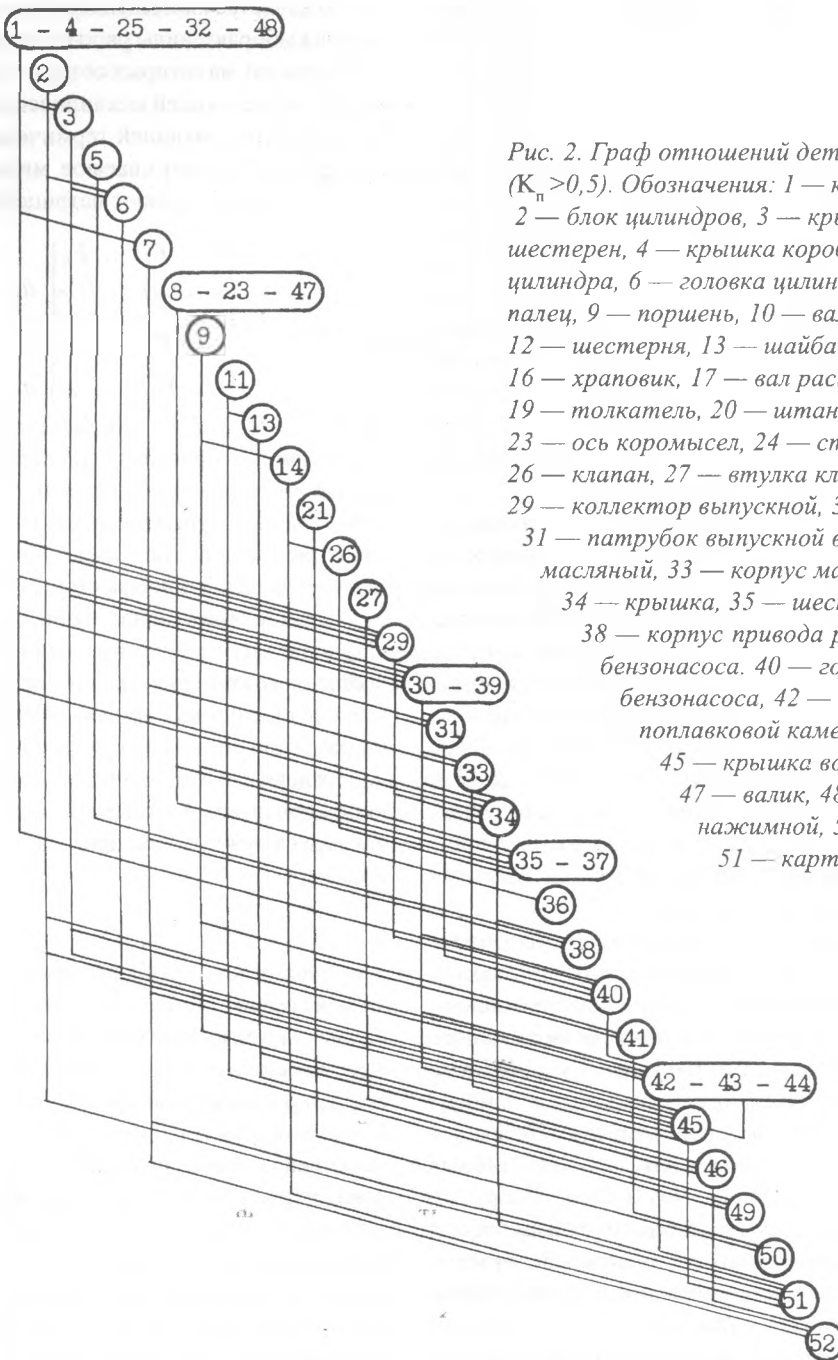


Рис. 2. Граф отношений деталей ремонтируемого двигателя ($K_n > 0,5$). Обозначения: 1 — кронштейн крепления двигателя, 2 — блок цилиндров, 3 — крышка распределительных шестерен, 4 — крышка коробки толкателей, 5 — гильза цилиндра, 6 — головка цилиндров, 7 — шатун, 8 — поршневой палец, 9 — поршень, 10 — вал коленчатый, 11 — маховик, 12 — шестерня, 13 — шайба упорная, 14 — ступица, 15 — шкив, 16 — храповик, 17 — вал распределительный, 18 — шестерня, 19 — толкатель, 20 — штанга, 21 — коромысло, 22 — винт, 23 — ось коромысел, 24 — стойка, 25 — крышка коромысел, 26 — клапан, 27 — втулка клапана, 28 — седло клапана, 29 — коллектор выпускной, 30 — труба впускная, 31 — патрубок выпускной водяной рубашки, 32 — картер масляный, 33 — корпус масляного насоса, 34 — крышка, 35 — шестерня, 36 — вал, 37 — плунжер, 38 — корпус привода распределителя, 39 — корпус бензонасоса, 40 — головка бензонасоса, 41 — рычаг бензонасоса, 42 — корпус карбюратора, 43 — крышка поплавковой камеры, 44 — смешительная камера, 45 — крышка водяного насоса, 46 — крыльчатка, 47 — валик, 48 — кожух сцепления, 49 — диск нажимной, 50 — рычаг оттяжной, 51 — картер, 52 — вилка

верхностями с параллельными и перпендикулярными осями, плоскими торцами и стыками, внутренними резьбами: блок цилиндров, крышка распределительных шестерен, головка цилиндров, корпус бензонасоса, картер сцепления;

2. Детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными осями, стыками, внутренними резьбами: труба впускная, крышка коробки толкателей, патрубок выпускной трубы, коллектор выпускной, кожух сцепления, картер масляный, головка бензонасоса, крышка коромысел,

корпус масляного насоса, корпус водяного насоса, крышка масляного насоса, корпус карбюратора, крышка карбюратора, смешительная камера;

3. Детали — тела вращения с наружными соосными и несоосными цилиндрическими и профильными поверхностями, торцами, стыками и внутренними резьбами: вал коленчатый, вал распределительный, поршень;

4. Детали — тела вращения с наружными цилиндрическими поверхностями: поршневой палец, ось коромысел, валик водяного насоса, валик масляного насоса, плунжер масляного насоса;

Таблица 1

Виды нагрузок и характер повреждений деталей и восстанавливаемые свойства

Основные конструктивные элементы деталей			Восстанавливаемые свойства
Наименование	Виды нагрузок	Характер повреждений	
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 трущихся	Осевые силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Стыки	Усилия 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	Усилия затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость
Резьбы наружные	Усилия 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	Поперечные силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Шлицы	Силы, нормальные поверхностям	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Элементы упругие	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры, усталостная прочность, жесткость

Таблица 2

Свойства восстанавливаемых деталей и средства их обеспечения

Восстанавливаемые свойства	Средства обеспечения
1	2
Остаточная загрязненность поверхностей	Очистка от эксплуатационных и технологических загрязнений
Износостойкость трущихся элементов (интенсивность изнашивания)	Нанесение материалов или насыщение поверхностного слоя элементами; термическая, химико-термическая, термо-механическая или механическая обработка
Сплошность и герметичность стенок	Сварка, пропитывание стенок, нанесение герметиков
Прочность элементов	Нанесение покрытий или установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей
Усталостная прочность	Поверхностное пластическое деформирование
Жесткость	Объемное пластическое деформирование
Взаимное расположение поверхностей	Точность расположения опор оснастки относительно шпинделей, базирование при черновой обработке
Форма элементов	Черновая и чистовая обработка
Размеры элементов	Чистовая обработка

1	2
Шероховатость рабочих поверхностей	Чистовая обработка и отделка
Значение массы	Увеличение или уменьшение массы детали
Распределение массы относительно осей вращения и инерции	Статическая или динамическая балансировка
Коррозионная стойкость	Фосфатирование, преобразование ржавчины, нанесение защитных покрытий

5. Детали — тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями: гильза цилиндра, втулка клапана, корпус привода распределителя;

6. Детали — тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями, группами отверстий: шкив, маховик, ступица коленчатого вала;

7. Детали с ориентированными отверстиями, выполненными во втулках, торцах и стыках: шатун, стойка коромысел, коромысло;

8. Детали с цилиндрическими и сферическими поверхностями: толкатель, штанга;

9. Детали с цилиндрическими и коническими поверхностями: клапан, седло клапана;

10. Зубчатые колеса: шестерни валов коленчатого и распределительного, шестерни масляного насоса.

Наибольшее количество поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания приходится на внутренние цилиндры (29,7%). Наружные цилиндрические поверхности составляют 14,1%, поверхности сложного профиля (конические и сферические) — 4,9%. На резьбы внутренние и наружные приходится, соответственно, 11,6 и 1,7%. Внутренние полости трех процентов деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится 14,9% поверхностей и на стыки — 18,2%.

Многообразие восстанавливаемых объектов еще больше сокращается при переходе от деталей к их элементам (табл. 1). При назначении способа восстановления элемента детали учитывают его материал, форму и размеры, виды повреждений и ограничения по качеству.

Организация процессов восстановления деталей, основанная на классификации их элементов, учитывает соответствующие характерные повреждения и совокупность восстанавливаемых параметров и включает разработку технологических модулей [7] восстановления геометрических и физико-механических свойств эле-

ментов разнотипных деталей (табл. 2) и составление модульных технологических процессов восстановления конкретных деталей [8].

При технологической подготовке ремонта агрегата проводят декомпозицию восстанавливаемых деталей на конструктивные элементы. Для каждого элемента определяют значения эксплуатационных свойств, которые обеспечивают нормативную послеремонтную наработку деталей. Если руководство по капитальному ремонту соответствующего агрегата не содержит такие свойства или их значения не удовлетворяют приведенному условию, то проводят научную подготовку по определению недостающей совокупности свойств и их значений.

Разрабатывают оптимизированные технологические операции по восстановлению каждого свойства рассматриваемых деталей в виде технологических модулей. Технологический модуль — это множество многократно применяемых операций (переходов), необходимых для восстановления одного свойства элемента детали. Множество модулей ограничено количеством восстанавливаемых эксплуатационных 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 накоплению и усилению необходимых свойств детали под влиянием вложенных материалов и энергии в ее ремонтную заготовку. Все операции процесса рассматривают не изолированно друг от друга, а 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 — 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 обработки, 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.

Модульная технология позволяет свести к минимуму разнообразие технологических процессов и средств, исключить дублирование работ в области технологической подготовки производства, внедрить поточную организацию изготовления деталей в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, становится гибким, мобильным, способным в кратчайшие сроки с минимальными издержками переходить на выпуск новых изделий. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне восстановления модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает процессу гибкость.

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 приобретает в настоящих условиях при отсутствии централизованного финансирования и нежелании предпринимателей 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 наименьшими затратами и трудоемкостью.

Литература

1. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И. Концепция синтеза экономнолегированных защитных слоев из диффузионно-легированных сплавов // Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции по сварочному производству промышленных предприятий, объектов энергетики и строительства. — СПб: Издательство СПбГПУ, 2002. — С. 149–154
2. Тененбаум М.М. Соппротивление абразивному изнашиванию. — М.: Машиностроение, 1976. — 271 с.
3. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов. — Мн.: Выш. шк., 1999. — 374 с.
4. Пинчук Л.С. Герметология. — Мн.: Наука і тэхніка, 1992. — 216 с.
5. Лялякин В.П. Методы повышения ресурса деталей дизельных двигателей при их восстановлении: Автореферат дисс. ... докт. техн. наук.: 05.20.03 — М.: ВНИИТУ-ВИД, 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. Базров Б.М. Концепция модульного построения механосборочного производства // Стандарты и качество, — 1986. — № 11, с. 16–19.
8. Иванов В.П. Организация восстановления изношенных деталей машин // Восстановление, ремонт, модернизация. — 2002. — № 6. — С. 2–7