

УДК 621.81.004.67(035)

## КАЧЕСТВО РЕМОНТА МАШИН: СОСТОЯНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ

доктор техн. наук, профессор В.П. ИВАНОВ,  
канд. техн. наук В.И. СЕМЕНОВ

Определена совокупность параметров восстанавливаемых деталей, значения которых необходимо довести до нормативных значений, и предложены соответствующие меры организационного и технологического характера. Реализация этих мероприятий позволит достичь нормативного качества отремонтированных агрегатов.

Первичное изготовление машин ведут из материалов и сырьевых полуфабрикатов. Отрасли машиностроения в дальнейшем не ремонтируют выпущенные изделия. Сложившаяся практика применения техники такова, что функции ее ремонта выполняют отрасли, использующие машины. В свою очередь, ремонт машин заключается в экономически обоснованном устранении их неисправностей и восстановлении ресурса, т.е. во вторичном производстве техники из ее ремонтного фонда. На восстановление деталей приходится наибольшая доля трудоемкости процесса ремонта машин, но восстановлением деталей обеспечивается и наибольшая составляющая экономической эффективности ремонта.

Однако фактическая послеремонтная наработка агрегатов существенно уступает нормативной наработке. Так, например, средняя, 90 %-ная и нормативная наработка отремонтированных двигателей составляют соответственно для двигателей ЗМЗ-53 – 67,4; 46,9; 112 тыс. км; ЗМЗ-24 – 102,8; 71,0; 112 тыс. км и УМЗ-451М – 80,7; 51,2; 88 тыс. км (рис. 1).

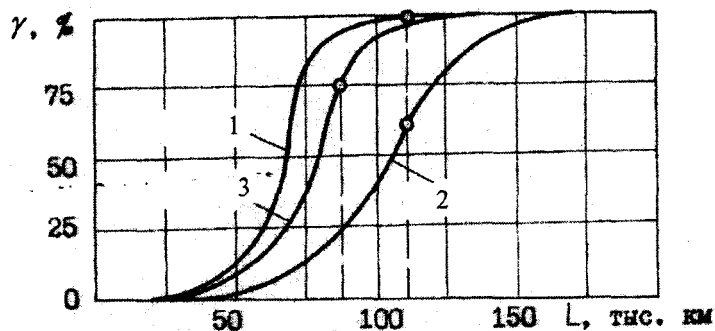


Рис. 1. Распределения  $\gamma$  интегральной наработки  $L$  отремонтированных двигателей: 1 – для двигателей ЗМЗ-53; 2 – для двигателей ЗМЗ-24; 3 – для двигателей УМЗ-451М

Нормативной наработки достигают соответственно 2; 34 и 25 % двигателей ЗМЗ-53, ЗМЗ-24 и УМЗ-451М. Наилучшие результаты показывают двигатели легковых автомобилей. Отметки в виде кружков на графиках соответствуют нормативной наработке и количеству двигателей, ее достигших.

Выявлению причин неудовлетворительного состояния качества отремонтированных агрегатов способствует рассмотрение отказов, обнаруженных в разные моменты жизненного цикла продукции.

Наибольшая доля дефектов (около 50 %), обнаруженных во время приемосдаточных испытаний двигателей перед отправкой их на склад сбыта, связана с течью воды или масла. Причинами их являются применение деталей с незамеченными трещинами в стенках (главным образом, корпусных деталей), неточное обеспечение значений замыкающих размеров, неплоскостность сопрягаемых поверхностей и несоблюдение технологии сборки уплотнительных элементов. Большая группа дефектов (свыше 20 %) связана с неисправностью масляной системы и маслопроводящих каналов. Устранение этих дефектов требует воздействий большей трудоемкости, а последствия от них наносят наибольший урон производству. Остальная группа дефектов связана с неточной обработкой деталей и организационными недоработками. Общее количество отмеченных дефектов имеет тенденцию к росту (рис. 2).

В 1990 – 2000 гг. наблюдалась тенденция снижения количества отказов двигателей в гарантийный период эксплуатации. В последние годы наблюдается стабилизация этого показателя по причине плохого состояния ремонтного фонда (рис. 3). Исключены отказы, связанные с интенсивным износом восстановленных поверхностей с покрытиями, однако увеличилась доля изломов и разрушений деталей, которые составляют 34,5 %. Дефекты, обусловленные недопустимыми погрешностями механической обработки, составляют 4,3; 16,8 % дефектов – результат низкой исполнительской дисциплины, – которые могут быть устранены организационными мерами.

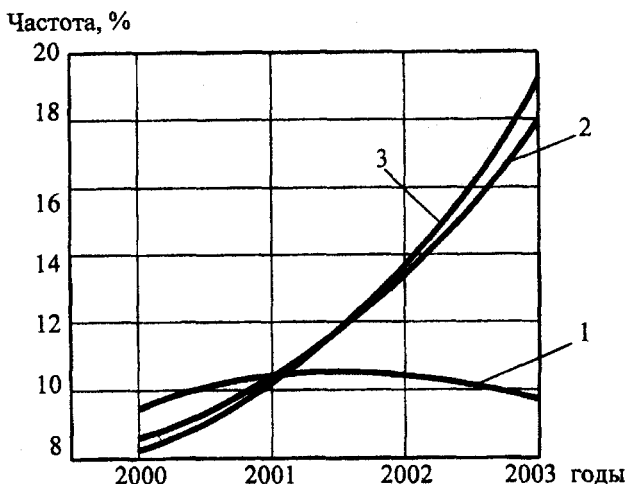


Рис. 2. Доля двигателей с дефектами, выявленными во время приемосдаточных испытаний:  
1 – двигатели 3МЗ-53; 2 – двигатели 3МЗ-24; 3 – двигатели УМЗ-451М

Доля рекламационных дефектов на различных предприятиях не уменьшилась и изменяется в широких пределах от 2 до 80 % в зависимости от вида техники. Наименьшая доля отказов приходится на карбюраторные двигатели легковых автомобилей, а наибольшая – на дизельные двигатели СМД-14.

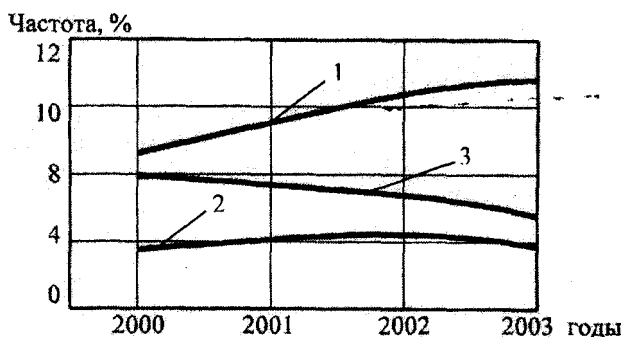


Рис. 3. Доля отказов отремонтированных двигателей в гарантийный период эксплуатации:  
1 – двигатели 3МЗ-53; 2 – двигатели 3МЗ-24; 3 – двигатели УМЗ-451М

Наибольшее число отказов – выплавка вкладышей, задиры шеек, падение давления масла, изломы коленчатых валов, неисправность топливной аппаратуры дизелей, повышенный расход масла, разрушение деталей (шатунных и их болтов, седел клапанов, коренных опор и перемычек между гильзами блока цилиндров и др.), разгерметизация систем охлаждения, повышенная вибрация двигателей – происходит в первые полгода эксплуатации техники. Наблюдается корреляция между частотой выявления дефектов и напряженностью работы производства.

Предельное состояние агрегатов, поступивших в ремонт после исчерпания ресурса, определяется износом основных деталей (корпусных, валов, гильз, шатунов, рычагов и др.).

Надежность отремонтированных агрегатов в большой степени определяется качеством восстановленных деталей, которое определяется степенью приближения значений их параметров к нормативным. Детали при восстановлении приобретают нормативные значения чистоты поверхностей, статической и циклической прочности, жесткости и износостойкости элементов, герметичности стенок и стыков, взаимного расположения и формы элементов, точности линейных и угловых размеров, шероховатости рабочих поверхностей, массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции, коррозионной стойкости.

Восстанавливаемые детали приобретают качество во время воздействий на них потоками материалов и энергии с помощью средств технологического оснащения (оборудования и оснастки). В ряде случаев оборудование не обладает необходимым техническим уровнем, а комплект имеющейся оснастки не полон.

Затраты на достижение нормативного качества восстановления деталей определяются созданием и функционированием системы качества продукции, подготовкой персонала и обеспечением средствами технологического оснащения, измерений и контроля. Наибольшая доля затрат приходится на совершенствование материальной базы восстановительного производства.

Кривые затрат на обеспечение отдельных точностных параметров имеют вид гипербол. Даже небольшое ужесточение точности восстанавливаемых параметров требует модернизации или замены средств технологического оснащения, что связано с вложением значительных финансовых средств (рис. 4).

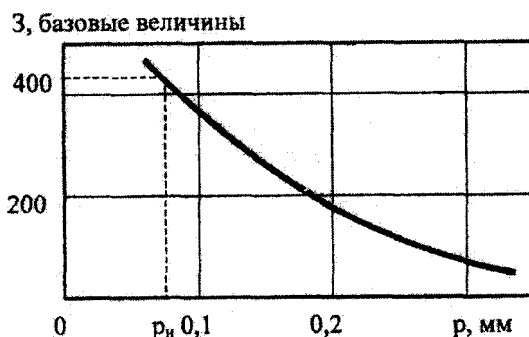


Рис. 4. Зависимость затрат (З) на достижение точности расположения (р) оси отверстия под коробку передач в картере сцепления относительно оси коренных опор блока цилиндров ( $r_n = 0,08$  мм – нормативное значение)

Значения восстанавливаемых свойств определены нормативной документацией, они являются ограничениями для организации процессов восстановления изношенных деталей. Эти значения свойств деталей обеспечивают не менее чем 80 %-ную послеремонтную наработку от наработки новых изделий. Качество восстановления деталей обеспечивается полностью в том случае, когда значения всех параметров, установленных нормативной документацией как для целых деталей, так и для их элементов, выдерживаются. Однако практика ремонта показывает, что в нормативных пределах находится менее половины (~ 48 %) параметров. Наиболее полно параметры выдерживаются при восстановлении распределительных валов, поршней и шатунов. Восстановление этих деталей выполнялось централизованно, оно наиболее оснащено и отличается высокой организованностью. У блоков цилиндров выдерживаются 54 % параметров, гильз цилиндров – 66 %, головок цилиндров – 25 %, поршневых пальцев и толкателей – 50 %, коленчатых валов – 31 %, клапанов – 66 %, маховиков – 20 %. С нормативной точностью обрабатывается только 56 % отверстий.

Если выполняются нормативные требования к форме, размерам и шероховатости поверхностей при обработке шеек валов, то с нормативной точностью обрабатывают не более 60 % отверстий; полностью обеспечивают требования к соосности шеек и отверстий и параметрам биения, но параметры параллельности и перпендикулярности элементов выдерживают частично; остаточная загрязненность поверхностей деталей превышает допустимую в пять и более раз; динамическая и смешанная неуравновешенность вращающихся частей превышает нормативную до 1,5 – 2 раз; жесткость не восстановленных упругих элементов составляет 60 – 70 % от нормативных значений. До 20 % отказов отремонтированных агрегатов в гарантийный период эксплуатации приходится на усталостные изломы валов, шатунов и опор корпусных деталей.

Повышение качества восстановления деталей и эффективности восстановительного производства требуют совершенствования его организации и оснащения средствами ремонта. Это направление было связано с укрупнением производства (объемов ремонта) и приобретением специального и специализированного производства. Концентрация и специализация производства внутри ремонтного завода достигались за счет выделения участков по централизованному восстановлению отдельных деталей [1] и типизации процессов восстановления деталей, основанной на их классификации [2].

В настоящее время возможность укрупнения ремонтного производства исчерпана, но более глубокая и эффективная унификация процессов и средств на стадии подготовки и организации ремонтного производства может быть достигнута за счет преобразования классификация деталей в классификацию их восстанавливаемых элементов. Многообразие восстанавливаемых объектов при этом существенно сокращается, а организация производства изменяется за счет перехода от централизованного восстановления отдельных деталей или их типовых групп к множеству модульных технологий по восстановлению отдельных свойств элементов деталей.

Новая концепция технологической подготовки процессов восстановления деталей предусматривает разработку технологических модулей восстановления свойств элементов разнотипных деталей и использование их в процессах восстановления конкретных деталей. Технологический модуль – это связанное множество технологических операций, необходимых для восстановления одного свойства отдельного элемента детали. Системный эффект от применения такого подхода заключается в уменьшении трудоемкости и сроков технологической подготовки производства. Основной методологический принцип концепции заключается в использовании ограниченного количества технологических модульных процессов к восстановлению неограниченного числа деталей. Внедрение концепции модульных технологических операций по восстановлению свойств деталей обеспечивает:

- безусловное достижение нормативного качества восстановления деталей за счет учета всех свойств деталей и восстановления их значений;
- уменьшение трудоемкости работ за счет объективного определения технического состояния деталей, выполнения самого необходимого объема работ по их восстановлению и исключения повторения ряда операций;
- учет поврежденных исходных заготовок и планирование объемов восстановления деталей;
- уменьшение производственной площади восстановительного производства за счет сокращения числа участков восстановления деталей, оптимизации их планировок и внедрения модульной технологической оснастки.

Разработана и внедряется система качества ремонта двигателей с восстановлением их деталей в соответствии с требованием стандартов серии ISO 9000. Элементы системы – политика качества, ответственность и полномочия персонала, принципы функционирования, условия идентификации и прослеживаемости продукции (исключающие ее обезличивание), управление процессами, контроль и проведение испытаний на всех этапах производства, корректирующие и предупреждающие действия, регистрация данных о качестве, аттестация работников и всего производства. Система дополнена оценкой и непрерывным повышением технического уровня средств технологического оснащения.

Одно из основных восстанавливаемых свойств детали – это износостойкость ее трущихся элементов. Если восстановление детали предусматривает нанесение покрытий, то одна или реже обе поверхности пары трения создают из материалов, отличающихся от материала новой детали. Как правило, в этом случае регламентируется только твердость покрытия, хотя для восстановления износостойкости поверхности этого недостаточно. Необходимо учитывать совместимость трущихся материалов, обеспечить необходимый состав и строение их поверхностных слоев и низкое сопротивление сдвигу на границе раздела трущихся тел. Это достигается выбором материала покрытия, способа его нанесения, термической, химико-термической и механической обработки.

Высокой износостойкостью обладают покрытия, гетерогенная структура которых состоит из частиц твердой упрочняющей фазы, равномерно распределенных и прочно удерживаемых в упругопластической стальной, никелевой или кобальтовой матрице. Наиболее часто роль матричной фазы выполняют твердые растворы металлов, а упрочняющих фаз – высокотвердые химические или металлоподобные соединения – карбиды, бориды, нитриды, оксиды и интерметаллиды. Основные способы получения гетерогенных покрытий при восстановлении деталей следующие:

- создание композиций из эвтектики и избыточных фаз при наплавке. Этот способ получил наибольшее распространение;
- получение метастабильных пресыщенных твердых растворов с последующей термической обработкой. Дисперсионное твердение (выделение вторичных высокотвердых фаз) при этом дополнительно упрочняет наплавленное покрытие;
- сохранение исходного композиционного строения частиц в покрытии за счет их неполного плавления. Возможности получения таких покрытий с различным сочетанием упрочняющих и матричных фаз значительно шире, чем у покрытий, получаемых кристаллизацией из расплава;
- введение дисперсной упрочняющей фазы в гальваническое покрытие при его нанесении.

Структуру покрытий необходимо регламентировать и выборочно контролировать на образцах-свидетелях.

При восстановлении корпусных деталей (блоков цилиндров) выполняются требования к диаметрам и форме отверстий, однако не выдерживаются параметры расположения и шероховатость их поверхностей. Недопустимы отклонения от параллельности или перпендикулярности осей отверстий между собой и с плоскостями приводов к перекосам деталей и нерасчетным условиям трения в кинематических парах. НесООсоcтoятельность опор корпусных деталей, в которых вращаются валы, добавляет к рабочим нагрузкам циркуляционные (паразитные) нагрузки. Суммарные нагрузки приводят к напряжениям в теле вала, которые на кривой Веллера смещают условия работы детали из области неограниченной усталости в область ограниченной усталости. Эффективно внедрение контроля момента проворачивания вала в подшипниках скольжения. Для сравнения, при сборке нового двигателя КамАЗ этот момент ограничен значением 1 кгс·м, при ремонте его значение составляет 5 – 10 кгс·м.

Большое количество изломанных деталей (коленчатых валов и шатунов) еще в гарантийный период эксплуатации предполагает, что они поступили на восстановление с критическим числом усталостных трещин, которые на операции определения его технического состояния не заметили. Более производительными и объективными являются ультразвуковые способы обнаружения трещин.

При восстановлении валов обеспечиваются диаметры шеек и фланцев, шероховатость их поверхностей. Однако у коленчатых валов не выдерживаются радиусы и угловое расположение кривошипов, расположение шпоночного паза относительно первого кривошипа и форма галтелей. Поверхностное пластическое деформирование галтелей не проводится.

Распределительный вал является сравнительно благополучной деталью, из-за которой практически не бывает рекламаций. Однако недопустимое отклонения фактического профиля кулачков от номинального может на 20 % уменьшить мощность двигателя и на столько же увеличить удельный расход топлива.

Проблемы восстановления тонкостенных гильз цилиндров связаны с обеспечением формы отверстий. Анализ процесса показывает, что число финишных операций в два раза меньше необходимого. Последние операции обработки нужно вести над деталью, установленной в эксплуатационное положение в блок цилиндров.

При восстановлении шатунов выдерживаются диаметры, форма и шероховатость отверстий, но не выдерживается параллельность их осей, что ведет к перекосу поршня в цилиндре.

Измерение линейных и угловых величин производится во время выполнения технологических операций сплошным методом, однако точность этих измерений недостаточна. Параметры формы и расположение поверхностей, а также их шероховатость измеряются редко и практически не управляются. Налицо необходимость выборочного контроля этих величин. Если для измерений линейных и угловых величин и параметров формы и шероховатости поверхностей применяют универсальные средства, то для измерения параметров расположения изготавливают специальные средства в собственном вспомогательном производстве.

Наиболее распространен метод безошибочности контроля, при котором средства измерений выбирают по известным значениям номинального размера, допуска изготовления и погрешности измерений. Здесь погрешности приняты равными 20 – 35 % от допуска на изготовление детали.

При точности размеров наружных поверхностей 5 – 6 квалитетов (что характерно для основных деталей современных агрегатов) применяют микрометры гладкие типа МК с ценой деления 0,01 мм. Однако необходимы микрометры рычажные типа МР и МРИ, скобы рычажные типа СР при использовании в стойке, головки рычажно-зубчатые типа ИГ с ценой деления 0,001 мм. Измерения размеров внутренних поверхностей с точностью по 5 – 8 квалитетам предполагают применение микроскопов инструментального типа МРИ-2, БМИ-1, оптиметров горизонтальных типа ОГ-3 и нутромеров с ценой деления 0,001 или 0,002 мм с настройкой по установочным кольцам. При использовании указанных средств измерений будет выявлена неудовлетворительная картина точности восстанавливаемых параметров деталей.

Параметры расположения чаще измеряются сравнительным способом, поэтому средства для их измерений должны обладать достаточной жесткостью и должны быть оснащены точными эталонами измеряемых параметров и головками рычажно-зубчатыми с ценой деления 0,001 мм.

При определении технического состояния большого количества несложных деталей одного вида (поршневых пальцев, клапанов и толкателей) целесообразно внедрение автоматических средств. При этом выполняются механическая подача деталей на позицию измерения, непосредственное измерение размера, сортировка деталей на годные и бракованные. Область эффективного применения автоматических средств для измерения линейных величин этих деталей начинается с объемов ремонта агрегатов (5 – 8 тыс. в год).

Таким образом, каждый завод, заинтересованный в достижении нормативного качества отремонтированной продукции, должен создать, внедрить и аттестовать ее систему качества. Эта система ориентирована на потребителя, предполагает спрос за качество с персонала, который непосредственно занят ремонтом техники, а не с работников технического контроля (качество продукции формируется не в процессе ее контроля, а в результате ремонта), внедрение выборочных методов контроля. Основным элементом системы – это непрерывное и планомерное совершенствование средств технологического оснащения производства (оборудования, оснастки и средств измерений).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Какуевичкий В.А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. – М.: Транспорт, 1993. – 176 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.