

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ПРИЧИНЫ И ВИДЫ ИЗНОСА ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И СРОКА СЛУЖБЫ

М.С. Агеев, канд. техн. наук, доц.,

Херсонская государственная морская академия, г. Херсон, Украина

М.Ф. Ковалев, канд. техн. наук, проф.,

М.В. Головащук, асп.,

Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

В.И. Калиниченко, канд. техн. наук, старш. научн. сотрудник,

В.М. Лопата, канд. техн. наук,

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАНУ, г. Киев, Украина

Проблему энергосбережения наиболее эффективно можно решить при внедрении технологий поверхностного упрочнения. Упрочняющие покрытия и технологии являются наиболее приоритетным направлением развития в современном двигателестроении. Неисправности и дефекты деталей двигателей влияют на его техническое состояние. Как показал анализ различных групп деталей двигателей количество и конструктивная значимость деталей типа "вал" являются определяющими в обеспечении их работоспособности. Из всех восстанавливаемых типоразмеров деталей - 60% составляют детали типа "вал" (рис.1).



Рисунок 1 – Статистика выхода из строя деталей двигателей

К деталям типа "вал" двигателей относятся, как собственно валы (коленчатый, распределительный), так и детали, имеющие конструктивные поверхности характерные для валов (оси, шкворни, втулки и др.). Среди деталей двигателей наиболее часто выходят из строя и требуют ремонта коленчатые и распределительные валы. Они являются ответственными, дорогостоящими и наиболее высоконагруженными деталями. Детали типа "вал", в частности, коленчатые и распределительные валы, работают в условиях трения со смазкой.

В процессе эксплуатации знакопеременные нагрузки, действующие на вал, вызывают трение и изнашивание его шеек; изгибы и скручивания в результате изгибных, крутильных и осевых его колебаний, усталостные разрушения в местах перехода шеек в щеки и в местах выходов масляных каналов. Износ шеек вала в целом определяет срок их службы. Шейки валов в паре с подшипниками работают в условиях динамических знакопеременных нагрузок. Сопряжение шейки вала - подшипник работает в условиях гидродинамической смазки. Стабильность режима гидродинамического трения часто нарушается и возникает полужидкое, а иногда и полусухое трение. В таких условиях резко возрастает скорость изнашивания рабочей поверхности вала и подшипника, что отрицательно влияет на ресурс двигателей. Износу коренных шеек коленчатого вала способствуют сила инерции и центробежная сила. Давление газов и инерционная сила передают коленчатому валу толчки,

скручивают его и изгибают, вызывая упругие деформации. В результате упругих деформаций в вале возникают внутренние напряжения. При совпадении периодов и направлений давления газов и инерционной силы, с одной стороны, и внутренних упругих напряжений — с другой, амплитуда колебаний вала возрастает, что приводит к образованию в наиболее напряженных местах (галтелях и щеках) усталостных трещин, развитие которых может вызвать поломку вала. Износ коренных шеек в значительной мере зависит от несоосности коренных подшипников и шеек, несоосности коленчатого вала и вала муфты сцепления, а также от несбалансированности коленчатого вала, маховика и муфты сцепления. При увеличении динамических нагрузок и числа оборотов коленчатых валов двигателей имеет место такое негативное явление как фреттинг. Кроме сил трения, на износ шеек влияет конструкция вала и его жесткость.

В результате эксплуатации коленвалы могут иметь следующие дефекты: овальность; конусность; прогиб; повреждения шатунных и коренных шеек (задиры, риски, вмятины, волнистость, следы коррозии); повреждение или износ отверстий под болты крепления маховика; износ гнезда в торце коленчатого вала под шарикоподшипник вала муфты сцепления; износ шпоночной канавки; износ маслосгонной резьбы; износ посадочных мест под шестерни и шкив вентилятора. По статистике поломки валов составляют: 75% - вследствие искривления их оси; 70% - вследствие изломов коленвалов по щекам, 20% - по мотылевым шейкам, 10% - по рамовым подшипникам. В эксплуатации чаще встречаются поломки, вызванные циклическими изгибными напряжениями, возникающими из-за неравномерного износа сопряжения шейки вала – подшипник.

Ресурс деталей двигателей обусловлен износостойкостью деталей, которая является важной эксплуатационной характеристикой, лимитирующей срок их службы. Наиболее рациональным и экономически целесообразным решением проблемы, которая связана с повышением износостойкости деталей, является нанесение на их рабочие поверхности износостойких покрытий. Изготовление деталей двигателей с износостойкими покрытиями ограничено, что является одной из причин их недостаточного срока службы. Поэтому разработка эффективных способов изготовления деталей с покрытиями повышенной износостойкости - одна из важнейших задач повышения срока службы автотракторных двигателей. В связи с этим разработка комплекса научно обоснованных технологических решений по увеличению срока службы валов автотракторных двигателей, в частности, по повышению их износостойкости является актуальной научной задачей в области двигателестроения.

Рассмотрим используемые на практике способы увеличения срока службы валов. В ремонтном производстве Украины, при сложившейся в настоящее время экономической ситуации, наиболее часто восстановление деталей типа "вал" осуществляется двумя способами: приданием их поверхностям новых, так называемых ремонтных размеров и полным восстановлением первоначальных размеров изношенных мест деталей.

При первом способе, получившем название способа ремонтных размеров, с изношенной части вала (например, шейки) снимается слой металла с целью устранения отклонений от правильной геометрической формы. Полученный после обработки новый размер называется ремонтным. Способ ремонтных размеров наиболее экономичен вследствие простоты (весь ремонт сводится к механической обработке). Однако этот метод усложняет технологический процесс ремонта из-за многообразия валов различных размеров.

При втором способе вал сначала подвергается механической обработке для придания ей правильной геометрической формы, затем ее поверхность наращивается, после чего производится механическая обработка под номинальный размер. Способ восстановления первоначальных размеров более дорогой, но лишен недостатков, присущих способу ремонтных размеров, и поэтому считается более прогрессивным.

Существуют различные технологические способы восстановления изношенных, поврежденных деталей: механическая и слесарная обработка, сварка и наплавка,

пластическое деформирование, электролитическое наращивание, напыление, припекание, электрофизические способы обработки и т.д.

Сегодня основным направлением при восстановлении деталей типа "вал" можно считать нанесение покрытий на изношенные поверхности вала. Нанесение покрытий - один из основных путей повышения твердости и износостойкости деталей типа "вал" и увеличения срока их службы. Упрочняющие покрытия и технологии являются наиболее приоритетным направлением развития в современном двигателестроении. Большинство деталей типа "вал" двигателей возможно восстанавливать разными способами наплавки и напыления (табл. 1). Главный недостаток методов наплавки - "холодные" и "горячие" трещины в зоне термического влияния (ЗТВ), которые резко снижают ресурс восстанавливаемой детали. Наплавка требует финишную механическую обработку посадочных мест для необходимого размера и чистоты поверхности.

Таблица – Способы восстановления деталей типа "вал"

Деталь	Способ восстановления
Коленчатый вал (шейки)	Автоматическая наплавка под слоем флюса Автоматическая наплавка порошковой проволокой Наплавка в углекислом газе Широкослойная наплавка Вибродуговая наплавка Электроконтактная приварка металлической ленты Плазменное напыление Электродуговое напыление Газопламенное напыление Газопламенное напыление шнуровыми материалами
Распределительный вал (шейки)	Вибродуговая наплавка Наплавка в углекислом газе Автоматическая наплавка под слоем флюса Газопламенное напыление Электродуговое напыление

При назначении способа восстановления и вала упрочняющими износостойкими покрытиями учитывают его материал, форму, размеры, виды повреждений и. учитывать следующие положения:

- во-первых, расплавление основы и покрытия в процессе восстановления нежелательно, так как приводит к изменению химического состава и свойств материалов покрытия и детали, и в результате, определяет необходимость использования ряда технологических мер;

- во-вторых, протекание процессов кристаллизации наплавленного металла в свободных условиях без использования внешнего механического фактора обуславливает образование в покрытии сварочных дефектов;

- в третьих, тепловой режим нанесения покрытий на восстанавливаемые поверхности деталей различных размеров и форм должен обеспечивать благоприятный характер распределения остаточных напряжений. В частности, в покрытии и в зоне соединения его с восстанавливаемой поверхностью желательна образование сжимающих остаточных напряжений, которые повышают сопротивление усталости;

- в четвертых, длительность процесса нанесения покрытий должна быть минимальной, чтобы его структура не претерпевала нежелательных изменений [1-4].

Электродуговое напыление (ЭДН) применяется для восстановления изношенных посадочных мест чугуновых, высокоуглеродистых и высоколегированных стальных деталей

типа "вал". Преимущество ЭДН перед наплавкой: продолжительность наплавки 1 ч 10 мин, расход проволоки 1,3 кг, продолжительность ЭДН — 24 мин, расход проволоки — 0,95 кг. ЭДН - один из наиболее экономичных методов распыления стальных проволочных материалов и характеризуется следующие преимуществами: получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 миллиметров; отсутствием значительного термического влияния на деталь; технологической гибкостью; низкой себестоимостью восстановления (в 1,4-1,8 раза ниже наплавки). Оборудование, на котором производят напыление, является сравнительно простым, легким и его можно достаточно быстро перемещать. Габариты деталей не лимитируют применение ЭДН. При реализации ЭДН твёрдость покрытий составляет 35-40 HRC, прочность сцепления не превышает 80 МПа, пористость составляет 10-20% [1-4].

Таким образом, в работе решалась одна из актуальных задач повышения ресурса наиболее ответственных деталей двигателей – валов за счет создания на их рабочих поверхностях износостойких покрытий методом ЭДН.

Цель проведенных исследований – создание способа формирования износостойких покрытий методом электродугового напыления (ЭДН) и установление влияния его технологических режимов на свойства покрытий, для повышения эксплуатационных свойств (износостойкости) и срока службы валов двигателей. Общая схема исследований состояла из следующих этапов:

1) анализ условий эксплуатации деталей типа "вал" двигателей, установление их основных дефектов и способов их устранения. Выбор способа восстановления и его характеристика;

2) исследование свойств восстановленных поверхностей валов с покрытиями: пористости, адгезионной и когезионной прочности системы покрытие-деталь, выносливости, микротвердости и износостойкости,

3) оптимизация режима ЭДН покрытий и разработка технологического процесса восстановления вала и практических рекомендаций

Технологический процесс (ТП) нанесения покрытий на изношенные шейки распределительных валов двигателей состоит из следующих операций: мойки, дефектации, механической обработки (с целью снятия дефектного слоя), дробеструйной обработки перед ЭДН (для повышения шероховатости восстанавливаемой поверхности и прочности сцепления покрытия), ЭДН проволоки 40X13 (рис. 2), чистовой механической обработки (шлифование) и контроля.



Рисунок 2 – Процесс нанесения покрытий на распредвал методом ЭДН

Процесс электродугового напыления покрытий на шейки распредвала представлен на рис. 2, а сам распредвала восстановленный распредвал вал с покрытием и после механической обработки представлен на рис. 3.



а



б

Рисунок 3 – Распредвал 14-04-20-1 двигателя Д-160.111-1 с покрытием и после обработки

Выводы. В работе решена актуальная научно-техническая задача, связанная с повышением срока службы системы "покрытие-восстанавливаемая поверхность" на примере валов ДВС, что раскрывает целостные представления о закономерностях и связях структурно-фазового состава, режимов нагрева и механических свойств, который в отличие от существующих ТП основывается на технологии восстановления и базируется на теоретическом и экспериментальном обосновании возможности применения для решения этой проблемы ЭДН, что отражено в таких результатах:

- предложено на основании анализа литературных источников и патентно-информационных исследований повышать износостойкость и срок службы валов ДВС путем восстановления их рабочих поверхностей способом ЭДН покрытий;

- выбрано оборудование и материалы для экспериментальных исследований. Для ЭДН использовалась установка АДН-10 (ГНУ "Объединенный институт машиностроения" НАН Беларуси, г. Минск). В качестве исследуемых материалов использовали проволоку 40Х13;

- разработаны математические модели, описывающие взаимосвязь технологических параметров процесса нанесения покрытий с их свойствами и определены оптимальные параметры процесса, обеспечивающие необходимые свойства покрытий. Установлено, что прочность сцепления покрытий составила 100...150 МПа, а пористость 51...10 %.

- принято решение исследовать механические свойства системы "восстановленная поверхность-покрытие" (когезионную и адгезионную прочность, деформативность, уровень напряжения в покрытии и зоне адгезионного контакта, вид разрушения системы) на одном образце за одно испытание с помощью экспериментально-расчетной методики;

- предложено определять оптимальное соотношение адгезионной и когезионной прочности – с помощью критерия адгезионно-когезионной равнопрочности, который позволит управлять качеством получаемого покрытия и соединения его с восстанавливаемой поверхностью, заключающиеся в получении необходимой структуры в зоне их соединения с помощью контроля величины деформации, технологических параметров процесса и т.п.;

- на основании теоретических и экспериментальных исследований разработана технология восстановления валов, которая заключается в ЭДН проволоки 40Х13. Разработан ТП восстановления валов, который состоит из следующих операций: мойка, дефектация, механическая обработка (МО) с целью снятия дефектного слоя, струйно-абразивная обработка (САО) перед ЭДН для повышения шероховатости восстанавливаемой поверхности и прочности сцепления покрытия, ЭДН покрытий, чистовое шлифование и контроль шеек вала с напыленным покрытием.

- проведенные лабораторные и стендовые испытания валов показали, что износостойкость поверхностей, восстановленных с помощью технологии ЭДН в 2,5-5 раза выше, чем поверхностей, восстановленных газопламенным напылением (ГПН) и в 1,5-1, 7 раза - по сравнению с новыми валами. Срок службы восстановленных валов увеличился в 2...2,5 раза по сравнению с новыми деталями и деталями, восстановленными ГПН.

Список литературы

1. Ильющенко А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. [Текст] / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек - Мн.: 2002. – 245 с.
2. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. [Текст] / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов – Екатеринбург, УрГУ, Унив. изд-во; 2012, - 267 с.
3. П.А. Витязь, М.А. Белоцерковский, В.А. Кукареко, Д.М. Калиновский, П.Г. Сухоцкий, Ж.Г. Ковалевская. Структура и свойства покрытий из стали 40Х13, полученных с использованием различных методов газотермического напыления. Физическая мезомеханика, 2002, т.5, № 1. - С. 15-22.
4. М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко Технологические особенности и области использования гиперзвуковой металлизации. Инновации в машиностроении: Сборник научн. трудов. (Минск, 30-31 октября 2008 г.). Минск, ОИМ НАН Беларуси. 2008 - С. 479-484.