ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО‑ДОРОЖНЫЙ

УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ГОНЧАРОВ ВИКТОР ГРИГОРЬЕВИЧ

УДК 629.083

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА**

**КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

Специальность 05.22.20 ‑ Эксплуатация и ремонт средств транспорта

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

САВЧЕНКОВ БОРИС ВАСИЛЬЕВИЧ

кандидат технических наук, доцент

Харьков ‑ 2008

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ ..........................................................................................................................5

РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ....................................................................................12

1.1. Анализ влияния ресурсаколенчатого вала на срок службы

двигателей транспортной техники..........................................................12

1.2. Особенности изнашивания поверхностей шеек коленчатых

валов двигателей транспортных средств.................................................19

1.3. Применяемые материалы и способы упрочнения коленчатых

валов транспортных средств....................................................................27

1.4. Основные способы ремонта коленчатых валов двигателей ..................37

Выводы по первому разделу .....................................................................43

РАЗДЕЛ 2 АНАЛИЗ ТЕОРЕТИКО‑ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ

ИССЛЕДОВАНИЙ ДИСКРЕТНОГО УПРОЧНЕНИЯ КАК

АЛЬТЕРНАТИВНОГО МЕТОДА РЕМОНТА КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ.........................................................................................................45

2.1. Целесообразность применения дискретного упрочнения для

поверхностей деталей.................................................................................45

2.2. Сущность и достоинства дискретного упрочнения материала

деталей машин.............................................................................................48

2.3. Теоретико‑экспериментальное исследование дискретного

упрочнения шеек коленчатого вала...........................................................50

Выводы по второму разделу.......................................................................54

РАЗДЕЛ 3 Материалы и методы исследования.......................................55

3.1. Обоснование выбора материалов исследования и анализ

схем стандартных технологий упрочнения деталей................................55

3.2. Оборудование, оснастка и выбор материала электрода для

дискретного упрочнения шеек коленчатого вала двигателя

транспортных средств...............................................................................58

3.2.1. Разработка оборудования для дискретного упрочнения

коренных и шатунных шеек коленчатых валов.............................58

3.2.2. Технологическая оснастка для упрочнения шеек

коленчатых валов..............................................................................62

3.2.3. Выбор материала электрода для дискретного

упрочнения коренных и шатунных шеек коленчатых валов........64

3.3. Методики исследований............................................................................67

3.3.1. Методика металлографических исследований образцов............67

3.3.2. Методика рентгеноструктурных и микрорентгеноструктурных

исследования образцов..................................................................70

3.3.3. Методика исследования триботехнических

характеристик материалов образцов............................................71

3.3.4. Методика исследования усталостной прочности образцов........74

3.4. Математическое планирование эксперимента........................................75

Выводы по третьему разделу...................................................................87

РАЗДЕЛ 4 ДИСКРЕТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ‑ ОСНОВА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА

КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ.........................89

4.1. Оптимизация режимов дискретного упрочения шеек коленчатых

валов.............................................................................................................89

4.2. Исследование характера упрочненногоповерхностного слоя

металла.........................................................................................................93

4.3. Исследование влияния дискретного упрочнения на усталостную

прочность материала.................................................................................96

4.4. Исследование влияния дискретного упрочнения на

триботехнические характеристики материалов коленчатых валов......102

4.4.1. Влияния дискретного упрочнения на триботехнические

характеристики коленчатых валов, изготовленных из чугуна.....102

4.4.2. Влияния дискретного упрочнения на триботехнические

характеристики коленчатых валов, изготовленных из стали........113

Выводы по четвертому разделу.................................................................120

РАЗДЕЛ 5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И

РЕМОНТЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ...................................................................122

5.1. Дискретное упрочнение коренных и шатунных шеек коленчатых

валов двигателей модели КамАЗ‑740, типа Д80 и 5Д49.......................122

5.2. Эксплуатационная проверка двигателей оснащенных

коленчатыми валами с дискретным упрочнением.................................126

Выводы по пятому разделу......................................................................132

Раздел 6 Оценка экономического эффекта от внедрения В ПРОИЗВОДСТВО дискретного упрочнения коленчатых валов ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РЕМОНТА двигателей транспортных средств...................................................................134

Выводы по шестому разделу.....................................................................142

ВЫВОДЫ.........................................................................................................................143

Список ИСПОЛЬЗОВАННОЙ литературы........................................................146

ПРИЛОЖЕНИЯ ..............................................................................................................160

**ВВЕДЕНИЕ**

Качественный капитальный ремонт агрегатов транспортной техники является важной экономической задачей в масштабе всей страны. Основным фактором повышения экономической эффективности капитального ремонта агрегатов транспортной техники является максимальное использование остаточного ресурса деталей.

Работоспособность двигателя, стабильность его технико-экономических характеристик в процессе эксплуатации в значительной степени зависят от срока службы и состояния коленчатого вала. Для данной детали весьма важными показателями, определяющими ее эксплуатационные свойства, являются культура производства, включая уровень технологии изготовления (восстановления), механические характеристики материала и качество рабочих поверхностей детали, а также ее ремонтопригодность. Оптимизация данных показателей в достаточной степени позволит увеличить ресурс как самой детали, так и двигателя в целом и следовательно значительно сократит затраты на закупку запасных частей.

Решение этих важных вопросов для транспортной техники зависит от совершенствования процесса ремонта за счет внедрения в производство прогрессивных технологических процессов восстановления и упрочнения деталей агрегатов с учетом их конструктивно-технологических особенностей и возможных дефектов.

**Актуальность темы**. В настоящее время целый ряд транспортных средств в различных областях промышленности имеют весьма ограниченный срок службы, что приводит к огромным убыткам. Материальные потери вследствие трения и изнашивания в машиностроении развитых государств достигают 4÷5 % национального дохода. Согласно данным [1] сопротивление трению поглощает во всем мире 30‑40 % вырабатываемой в течение года энергии. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машин иногда в несколько раз превышают их стоимость [2]. Известно, что двигатели транспортной техники за весь срок службы ремонтируют до 5 раз. Ресурс двигателя после ремонта по сравнению с ресурсом нового двигателя составляет 30‑50 % [3], хотя по техническим условиям должен быть не ниже 80 % [4, 5].

Точных данных об экономических потерях в Украине, которые обусловлены снижением эксплуатационных характеристик двигателей транспортных средств, вследствие изнашивания деталей, нет. Однако, косвенно о масштабах данной проблемы можно судить из следующих данных. В 1990 году в журнале «Трение и износ» академик В.С. Авдуевский констатировал [6]: «...на практике недостаточная износостойкость приводит к простоям машин по причине неработоспособности (по сельскохозяйственной технике убытки от простоев в период уборки урожая составляет 2...3 млрд. руб. в год), чрезвычайно большой загрузке основных производственных мощностей для изготовления запасных частей (до 30 % по автотракторной технике), разросшейся сети ремонтных организаций и мастерских».

В то же время, как показывает практика, около 75% деталей после разборки агрегатов, поступивших в капитальный ремонт, имеют большой остаточный ресурс и могут быть использованы повторно после восстановления с затратами, не превышающими 40‑60% стоимости новых деталей. Таким образом, задача повышения износостойкости деталей автотранспортных средств и трибосистем в целом является актуальной и требует всестороннего подхода и изучения. При этом известно, что любой технологический процесс ремонта и восстановления детали (агрегата) предусматривает не только восстановление нарушенных в процессе эксплуатации геометрических параметров, но и, главным образом, сдерживание тех разрушительных процессов, которые естественным образом протекают на поверхности детали. Поэтому, при достаточно большом количестве способов восстановления для таких быстроизнашивающихся деталей как коленчатые валы, актуальной задачей до сих пор является поиск новых эффективных технологий ремонта для повышения ресурса их рабочих поверхностей. Таким технологическим процессом, отвечающим указанным требованиям по нашему мнению, является дискретное упрочнение коренных и шатунных шеек коленчатого вала.

В данный момент отсутствует научно-техническая информация о влиянии этого вида упрочнения на эффективность ремонтных воздействий для деталей транспортной техники, что делает задачу исследования этого способа упрочнения еще более актуальной.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Работа выполнена в соответствии с Государственной программой развития машиностроения на 2006‑2011 гг. «Розробка та створення умов для широкого впровадження високих ресурсозберігаючих технологій:

‑ нанесення функціональних та захистних покриттів з новими властивостями.» № 516 от 18.04.2006 г.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы ‑ совершенствование технологии ремонта коленчатых валов с применением дискретного упрочнения для повышения ресурса транспортной техники. В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

‑ выполнить анализ научно‑технической информации по оценке ресурса коленчатых валов, существующих способов их упрочнения и восстановления работоспособности коренных и шатунных шеек;

‑ предложить новый способ ремонта ‑ дискретное упрочнение рабочих поверхностей коренных и шатунных шеек коленчатых валов, как альтернативу стандартным технологиям ‑ азотирование и закалка ТВЧ, при восстановлении деталей и изготовлении запасных частей, проанализировать изменения механических свойств поверхностного слоя материалов коленчатых валов после их дискретного упрочнения, установить оптимальные значения режимных параметров предлагаемой технологии ремонта;

‑ установить зависимость параметров процесса упрочнения, позволяющую оптимизировать режимы дискретной обработки и триботехнические характеристики пары трения шейка коленчатого вала ‑ вкладыш подшипника скольжения;

‑ провести экспериментальную оценку повышения ресурса, ремонтопригодности и работоспособности трибосистемы шейка коленчатого вала ‑ вкладыш подшипника скольжения после дискретного упрочнения, разработать технологическую оснастку и оборудование для реализации дискретного упрочнения коленчатых валов в ремонтном производстве;

‑ провести опытно‑промышленные испытания с целью подтверждения эффективности предложенной технологии ремонта при восстановлении работоспособности коренных и шатунных шеек коленчатых валов и дать оценку технико‑экономической целесообразности использования дискретного упрочнения как альтернативного способа совершенствования технологии ремонта и повышения ресурса двигателей транспортной техники.

**Объект исследования.** Технологический процесс дискретного упрочнения шеек коленчатых валов для совершенствования ремонта двигателей транспортной техники.

**Предмет исследования.** Закономерности изменения триботехнических характеристик материала после дискретного упрочнения коленчатого вала, определяющего ресурс транспортной техники.

**Методы исследования.** Для моделирования реального узла трения в работе использовались научные и экспериментальные методы исследования, а также методы математической статистики при обработке и анализе экспериментальных данных, полученных при проведении лабораторных и производственных испытаний.

При проведении эксперимента были оптимизированы диапазоны значений исследуемых режимных параметров дискретного упрочнения, установлены величины износа поверхностного слоя, которые определялись в лабораторных условиях весовым методом при сравнительных испытаниях материалов после их промышленной термической, химико-термической обработки и дискретного упрочнения. Для прогнозирования влияния технологических параметров дискретного упрочнения материала детали на износостойкость, изнашивающую способность и коэффициент трения разработана математическая модель. При изучении структуры и определении глубины упрочненных зон

материала использованы металлографический, рентгеноструктурный, микрорентгеноспектральный анализы, а также методика определения триботехнических характеристик и определения усталостной прочности материала детали.

Достоверность результатов исследований подтверждается удовлетворительной сходимостью данных, полученных на базе математической модели, с результатами экспериментальных исследований и промышленных испытаний.

**Научная новизна полученных результатов:**

‑ впервые научно обоснована целесообразность применения дискретного упрочнения, заключающегося в создании чередования в заданной последовательности (дискретно) высокопрочных и пластичных участков, при ремонте (изготовлении) коленчатых валов двигателей транспортной техники;

‑ разработан способ дискретного упрочнения коленчатых валов, обеспечивающий высокие триботехнические характеристики поверхностей упрочнения при сохранении оптимального уровня усталостной прочности детали, позволяющий повысить эффективность технологии ремонта двигателей транспортной техники;

‑ на основании исследования закономерностей изменения структуры и свойств поверхности металла после дискретного упрочнения впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена взаимосвязь основных режимных параметров упрочнения материала деталей (величина дискретности ‑ φ, величина тока разряда ‑ Ір, материал и толщина электрода ‑ Ѕ) с износостойкостью, изнашивающей способностью и коэффициентом трения.

**Практическая ценность полученных результатов.** Разработанный способ дискретного упрочнения позволяет совершенствовать технологический процесс ремонта коленчатых валов за счет повышения износостойкости деталей, изготавливаемых как из стали, так и из чугуна:

‑ установлено позитивное влияние технологии дискретного упрочнения коренных и шатунных шеек коленчатого вала на работоспособность трибосистемы шейка коленчатого вала ‑ подшипник скольжения;

‑ сформулировано требование к материалу электрода для дискретного упрочнения и выбран электрод для осуществления упрочнения коленчатых валов, изготовленных как из стали (двигатели КамАЗ‑740 и 5Д49), так и из чугуна (двигатели типа Д80);

‑ разработаны и внедрены в производство технические условия на ремонт коленчатого вала, технологическая оснастка и оборудование для дискретного упрочнения коренных и шатунных шеек коленчатых валов;

‑ результаты выполненной работы внедрены на ГП «Завод имени Малышева» при изготовлении и ремонте коленчатых валов двигателей типа Д80 и 5Д49, экономический эффект у потребителя (Южная железная дорога) составил в 2005 году 4500000 грн. При внедрении технологии ремонта для коленчатых валов двигателей автомобилей КамАЗ‑740 на ГП МОУ «ХАРЗ‑110» экономический эффект составил 21116 грн.

Кроме этих предприятий промышленное апробирование разработанной технологии было выполнено на ОАО ХЗТСШ при ремонте коленчатых валов двигателей Д120 (Д21А1) тракторного самоходного шасси Т16‑МГ и ОП «Добропольская автобаза» ГП «Добропольеуголь» при ремонте коленчатых валов двигателей автомобилей КамАЗ и КрАЗ.

**Личный вклад соискателя.** В публикациях в соавторстве автору принадлежит: теоретическое исследование причин преждевременного выхода деталей из строя и существующих способов повышения их износостойкости при изготовлении и ремонте; предложен способ дискретного упрочнения; определение влияния диапазона технологических параметров режима дискретного упрочнения на триботехнические характеристики пары трения шейка коленчатого вала ‑ вкладыш подшипника скольжения; проведение и анализ результатов исследований влияния режимов дискретного упрочнения на структуру, фазовый состав и износостойкость упрочненных поверхностей .

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

‑ ежегодных научно‑методических конференциях ХНАДУ (г. Харьков 2003‑2006 гг);

‑ научно‑технической конференции «Проблемы надежности машин на этапах проектирования, эксплуатации и ремонта». ‑ Харьков:, ХГТУСХ ‑ 2002 г.;

‑ 11 Міжнародній науково‑практичній конференції «Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки». ‑ Харків:, ХДТУСГ ‑ 2003 р.;

‑ 1Х Международной научно‑технической конференции «Транспорт, экология ‑ усточиво развитие». ‑ Варна:, ТУ ‑ 2003 г.;

‑ 1Х Міжнародній науково‑технічній конференції «Нові конструкційні сталі та стапи і методи їх обробки для підвищення надійності та довговічності виробів». ‑ Запоріжжя, ЗНТУ ‑ 2003 р.

**Публикации.** Основные результаты работы опубликованы в десяти научных публикациях, в том числе восьми входящих в перечень ВАК Украины, из них одна статья без соавторов и один патент на изобретение «Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів» № 79336.

**Выводы**

1. Реальный ресурс эксплуатируемых отремонтированных двигателей транспортной техники в настоящее время в Украине составляет по сравнению с новыми двигателями 30‑50 %, хотя должен быть не ниже 80 % (ГОСТ 23465‑79). Существующие технологии изготовления и ремонта коленчатых валов и применяемые способы упрочнения их рабочих поверхностей (коренные и шатунные шейки) не обеспечивают необходимый ресурс и ремонтопригодность данной детали.

2. На основании проведенных исследований впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность совершенствования технологии ремонта транспортной техники за счет применения предложенного нового способа обработки ‑ дискретного упрочнения рабочих поверхностей шеек коленчатых валов, изготавливаемых из чугуна и сталей, что повышает их износостойкость и ремонтопригодность. Установлено, что основными технологическими факторами дискретного упрочнения, определяющими триботехнические свойства материалов и эксплуатационные характеристики деталей, являются величина дискретного упрочнения ‑ ϕ (%), тока разряда ‑ Iр (А), толщина и материал электрода ‑ S (мм).

3. Выполненные исследования процесса позволили установить оптимальные режимы дискретного упрочнения по трибосистеме шейка коленчатого вала ‑ вкладыш подшипника скольжения: величина дискретности ‑ ϕ=50-70%; величина тока разряда ‑ Iр =60-70 А; толщина электрода (сталь 08Х18Н10Т) ‑ S=1мм. При обработке изделия на данных режимах дискретного упрочнения обеспечивается наиболее высокий уровень износостойкости рабочей поверхности шеек коленчатых валов при ремонте (изготовлении) двигателей транспортных средств.

4. Предложенный способ дискретного упрочнения коренных и шатунных шеек коленчатых валов обеспечивает (по сравнению со стандартными способами упрочнения):

‑ упрочненный слой (в пятне) глубиной 250‑400 мкм и твердостью в пределах 500‑1000 МПа;

‑ достаточно высокую усталостную прочность чугунного коленчатого вала на уровне σ-1≈190 МПа, при этом установлено, что граница между упрочненным слоем и основным металлом не является технологическим концентратором напряжений, понижающим усталостную прочность;

‑ повышение износостойкости чугунных коленчатых валов до 8‑10 раз в сравнении с нормализованными и 1,3‑1,5 раза в сравнении с закаленными (ТВЧ), а стальные в 1,5‑3,5 раза по сравнению с азотированными, при этом получено снижение коэффициента трения в трибосистеме шейка коленчатого вала ‑ вкладыш подшипника скольжения до f=0,012;

‑ увеличить значение задиростойкости поверхности шеек коленчатого вала, превышающую нагрузку более 2,0 кН (максимально возможная в реальных условиях);

‑ упростить процесс восстановления работоспособности коленчатых валов и исключить вредные энергозатратные технологии производства.

5. Установлено, что дискретное упрочнение коленчатого вала не приводит к снижению усталостной прочности изделия, а напряжения от крутильных колебаний в коленчатом вале ниже допустимых в 1,9‑2,5 раза. При этом обеспечивается снижение трудоемкости работ по обработке изделия в сравнении со стандартными видами упрочнения коленчатых валов минимум на 30 %.

6. Для внедрения процесса дискретного упрочнения коленчатых валов при изготовлении и ремонте двигателей на ГП «Завод имени Малышева», ЮЖД и ГП МОУ «ХАРЗ‑110» были разработаны и внедрены на ЮЖД «Укрзалізниця» технические условия (ТУ У 29.1‑22615920‑001:2005) на ремонт коленчатых валов, спроектированы и изготовлены оборудование и технологическая оснастка, позволяющие производить упрочнение, как коренных, так и шатунных шеек. Кроме этих предприятий технология дискретного упрочнения деталей была апробирована на ОАО «Харьковский завод самоходных шасси» при ремонте двигателей Д120, ОП «Добропольская автобаза» и ГП «Добропольеуголь» при ремонте двигателей КрАЗ и КамАЗ.

7. Экономический эффект от внедрения дискретного упрочнения при ремонте коленчатых валов двигателей 5Д49, эксплуатируемых на ЮЖД за 2005 год составил‑4,5 млн грн., а для ГП МОУ «ХАРЗ‑110» при ремонте двигателя КамАЗ‑740 ‑ 21116 грн.

**Список литературы**

1. Хебды М., Чичинадзе А.В. Теоретические основы, Том 1, Справочник по триботехнике в трех томах. М.: Машиностроение, 1989. - 400 с.

2. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 591 с.

3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1985. - 312 с.

4. Канарчук В.Е., Чигренец А.Д. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. - Киев.: Вища школа, 1993. - 237 с.

5. ГОСТ 23465-79 Дизели автомобильные. Общие технические условия. - Введ. 01.01.80. - М.: Изд-во стандартов, 1979 - 6 с.

6. Авдуевский В.С., Боновой М.А. Трибология и машиностроение // Трение и износ - 1990. - № 1. - с. 23-26.

7. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка). - М.: Центр «Наука и техника», 1995. - 284 с.

8. Чичинадзе А.В. Не стоит платить за незнание // Инженерная газета - 1994. - № 28.

9. Кухтов В.Г. Нормирование и повышение долговечности деталей шасси колесных тракторов класса 30 кН. Автореф. дис... канд. техн. наук. - Харьков. 1991, -28с.

10. Ленский А.В. Специализированное техническое обслуживание машино-тракторного парка. - М.: Росагропромиздат, 1989. – 236 с.

11. Оценка надежности двигателей производства ХЗТД в реальных условиях эксплуатации. Отчет / НИКТИД. – Владимир, 1989. – 58 с.

12. Рабинович А.Ш. и др. Методические указания по классификации и шифровке отказов тракторов. – M.: ГОСНИТИ, 1976.

13. Сковородин В.Я., Тишкин Л.В. Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники.- Л.:Лениздат, 1985. -204с.

14. Скороходов А.Н. Анализ эксплуатационной надежности агрегатов и технологических комплексов. / Методические указания. - М.:МИИСП, 1988. - 18 с.

15. Прогнозування ресурсу локомотивів: Зб. наук. пр. - Харків: УкрДАЗТ, 2002. Вип. 49. - с. 12-19.

16. Трактора серии 8100, 8200, 8300 и 8400 (Серийный номер 10001). Руководство по эксплуатации. John Deere Waterloo Works, OMAR 150262. Выпуск G6. Северо – Американское издание. Напечатано в США. - 1981.

17. Millar G. H. Diesel development in perspective // Diesel Progress of North America, 1995, 7, 44-46.

18. Лукинский В.С., Новодворский В.Ю., Соколов В.С. Надежность автомобильных машин двигателей КамАЗ-740 в рядовой эксплуатации // Двигателестроение. - 1983 - № 11 - с. 34-36.

19. Бажинов А.В., Наглюк И.С. Организация прогнозирования остаточного ресурса агрегатов автомобиля и срока смены масла в них // Применение математических средств и вычислительной техники к задачам автомобильного транспорта (Тезисы докладов и сообщений). – Волгоград, 1989. – С. 51-52.

20. Кавалерчик К.М. Организационно - экономические основы управления работоспособностью и оптимизации долговечности машин.- Автореф. дис... докт. экон. наук. - М.:МИИСП, 1989. – 32 с.