



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 621.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Тимофеева Лариса Андреевна, доктор технических наук, профессор
Заведующая кафедрой материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения,
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

Контактный тел.: (057) 732-28-84

E-mail: fedcirina@yandex.ru

Тимофеев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент
Кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения, Украинская
государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

Контактный тел.: (057) 732-28-84

E-mail: fedcirina@yandex.ru

Демин Андрей Юрьевич

Аспирант, кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения,
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

Контактный тел.: (095) 564-92-28

E-mail: a.domin@mail.ru

Ягодинский Евгений Сергеевич

Аспирант, кафедра материалов и технологий изготовления изделий транспортного назначения,
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

Контактный тел.: (057) 732-28-84

E-mail: fedcirina@yandex.ru

У статті було проведено аналіз існуючих засобів і технологій поверхневого відновлення працездатності колінчастих валів дизелів транспортного призначення. Підсумком проведених досліджень стала розробка комплексної технології відновлення, яка включає наряду з класичною термічною обробкою, застосування антифрикційного покриття на поверхневому шарі деталі при відновленні її працездатності, що дозволило підвищити експлуатаційні характеристики колінчастого вала.

Ключові слова: колінчастий вал, трибосистема, поверхневий шар, відновлення, зміцнення.

В статье был проведен анализ существующих способов и технологий поверхностного восстановления работоспособности коленчатых валов дизелей транспортного назначения. Итогом проведенных исследований стала разработка комплексной технологии восстановления, которая включает наряду с классической термической обработкой, применение антифрикционного покрытия на поверхностном слое детали при восстановлении ее работоспособности, что позволило повысить эксплуатационные характеристики коленчатого вала.

Ключевые слова: коленчатый вал, трибосистема, поверхностный слой, восстановление, упрочнение.

1. Введение

Рациональное использование остаточного ресурса деталей является основным фактором повыше-

ния экономической эффективности капитального ремонта агрегатов транспортной техники.

Как показывает практика, около 75 % деталей после разборки агрегатов, поступивших в капи-

тальный ремонт, имеют большой остаточный ресурс и могут быть использованы повторно после восстановления с затратами, не превышающими 40–60 % стоимости новых деталей [1].

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 % [2], хотя по техническим условиям должен быть не ниже 80 % [3, 4].

Работоспособность двигателя, стабильность его технико-экономических характеристик в процессе эксплуатации в значительной степени зависят от срока службы и состояния коленчатого вала.

Важными показателями, определяющими эксплуатационные свойства коленчатого вала, являются качество производства (уровень технологии изготовления и восстановления), механические характеристики материала, качество рабочих поверхностей детали и ее ремонтпригодность. Оптимизация перечисленных показателей в достаточной степени позволит увеличить ресурс, самой детали и двигателя в целом и, следовательно, значительно сократит затраты на закупку запасных частей [5].

Надежность современных дизельных двигателей по мере их форсирования, снижения удельной массы и роста экономичности во все большей степени ограничивается надежностью подшипников коленчатых валов. Использование тяжелых сортов топлива вызывает увеличение скорости изнашивания шеек коленчатых валов и антифрикционных слоев вкладышей.

Основными причинами отказов коленчатых валов являются износ и задиры шеек. Задиры и повышенной износ шеек наблюдается на всех типах дизелей независимо от твердости шеек. Задиры шеек и расплавление антифрикционного слоя вкладышей, как правило, приводят к деформации коленчатых валов, реже — к поломке вала [6].

Технологический процесс ремонта и восстановления коленчатого вала 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 [7].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время для восстановления работоспособности коленчатых валов применяют два вида ремонта.

Наиболее простой технологически и недорогой с экономической точки зрения из них, предполагает получение припуска из оставшегося материала на поверхности восстанавливаемого элемента самой детали для его обработки под один из ближайших

ремонтных размеров. Однако, в связи с тем, что глубина упрочненного слоя шеек изначально при изготовлении валов, как правило, не превышает 0,25–0,40 мм, а ремонтные размеры, в свою очередь, отличаются один от другого на 0,25...0,5 мм, то, начиная уже со второго ремонтного размера у коленчатых валов из-за снятия упрочненного слоя металла интенсивность изнашивания коренных и шатунных шеек возрастает, что резко сокращает ресурс работы двигателя. С целью устранения этого недостатка применяют закалку токами высокой частоты (ТВЧ) или повторное азотирование. Упрочнение шеек коленчатых валов методом ТВЧ заключается в том, что с ремонтных шеек снимают дефектный слой толщиной не менее 1 мм на сторону, производят закалку ТВЧ, а затем финишную обработку. Несмотря на внешнюю простоту процесса, он имеет ряд недостатков: этот метод позволяет ремонтировать не более 1–4 шеек; высокая стоимость и крупные габариты технологического оборудования; организация мероприятий по защите персонала от рассеянного излучения; высокая энергоемкость; обезуглероживание приповерхностного слоя; снижение усталостной прочности, наличие технологического концентратора напряжений; снижение ремонтпригодности.

Проведение повторного азотирования коленчатых валов имеет свои недостатки, такие как значительная длительность процесса (70–100 ч), высокая энергоемкость, применение высоких температур и, как следствие, поводка (коробление) упрочняемых деталей, а соответственно увеличение припусков под механическую обработку, к тому же подобная технология относится к вредному производству [8].

Второй вид ремонта предполагает нанесение на поверхность восстанавливаемого элемента слоя металла с последующей обработкой в нужный размер. В ремонтном производстве коленчатых валов нашли применение такие способы: газотермические методы нанесения покрытий, электродуговая металлизация, газопламенное, детонационное и плазменное напыление, электролитические способы — хромирование и железнение [9].

Высокоскоростное газопламенное напыление широко применяется для создания плотных металлических и металлокерамических покрытий.

Детонационное напыление — в силу дисперсного характера напыления и малой производительности наиболее подходит для напыления покрытий для защиты и восстановления небольших участков.

Распыление с помощью плазмы обычно называют плазменным напылением. Этот метод применим к восстановлению коленчатых валов, но требует значительные материальные и энергетические вложения. Широкое применение данный метод получил в упрочнении гребней колесных пар.

Электродуговая металлизация энергетически более выгодна, однако позволяет напылять только

металлические материалы. Как правило, используется для напыления антикоррозионных металлических покрытий на больших площадях. Базируясь на данном методе, спроектирована и изготовлена промышленная полуавтоматическая линия для восстановления изношенных поверхностей шеек коленчатых валов дизелей 12VFE17/24 дизель поездов Д1 Венгерского производства, а также любых других коленчатых валов меньших размеров [10].

Электролитические способы — хромирование и железнение позволяют получить осадки высокого качества и значительной толщины. Преимущество хромирования — высокая твердость, износостойкость, жаропрочность, низкий коэффициент трения и устойчивость к воздействию влажной атмосферы, большинства кислот и щелочей. Преимуществом железнения перед хромированием является применение более дешевых электролитов, применение растворимых анодов, что исключает проводить корректировку электролита; более высокая скорость покрытий (0,3–0,5 мм/ч); возможность наращивания слоев большей толщины [11].

Анализируя количественное разнообразие применяемых в производстве способов упрочнения и восстановления ресурса коренных и шатунных шеек коленчатых валов, используемых как при их изготовлении, так и при ремонте, можно выделить для них общие недостатки: все вышеперечисленные методы нашли свое применение лишь в процессе восстановления шеек коленвалов малых размеров (автомобильных и тракторных двигателей); стандартные упрочняющие способы и традиционные технологии нанесения износостойких покрытий в большинстве своем не обеспечивают требуемого уровня повышения износостойкости и усталостной прочности деталей одновременно; триботехнические характеристики упрочненных поверхностей и износостойких покрытий деталей в значительной степени зависят от скорости скольжения, удельного давления (нагрузок) и температуры; упрочняющие покрытия не обеспечивают качественного сцепления покрытия с подложкой (деталью); стандартные упрочняющие процессы достаточно энергоемки; необходимость наличия увеличенных припусков под механическую обработку после упрочнения для устранения возможной деформации детали; изменение градиента температур в основном материале детали приводит к разрушению износостойких покрытий; большие капитальные вложения по организации производств для упрочнения деталей и устранению экологически вредных процессов [5, 12].

3. Постановка задачи исследования

До настоящего времени исследовано и нашло применение свыше 150 методов поверхностного

упрочнения деталей. Наряду с традиционными методами развиваются новые технологии с применением источников с высокой концентрацией энергии: ионоплазменные методы, лазерное упрочнение, детонационное напыление; дискретное упрочнение, полученное электроискровым методом [12]; модифицирование шеек вала слоистыми силикатами [13–16].

Задача исследования — разработать эффективный способ и технологию поверхностного восстановления работоспособности коленчатых валов дизелей транспортной техники, которая устраняла бы недостатки существующих методов.

4. Технология комплексной обработки при восстановлении поверхностного слоя детали

Перспективой развития и применения новых способов упрочнения и нанесения износостойких покрытий является их соответствие удовлетворительному уровню эксплуатационных характеристик трибосистем с приемлемой технологичностью, ремонтпригодностью и экономичностью процессов изготовления и ремонта деталей.

Поэтому, при достаточно большом количестве способов восстановления коленчатых валов, актуальной задачей до сих пор является поиск новых эффективных технологий ремонта, обеспечивающих повышение ресурса их рабочих поверхностей.

Таким способом может быть комплексная технология, включающая в себя термическую обработку и нанесение антифрикционного слоя в одном технологическом цикле.

Особенностью данной технологии является то, что после термической обработки традиционным способом и закалки ТВЧ, изделие погружают в раствор солей силикатов. Этот раствор состоит из элементов, которые образуют на поверхности детали антифрикционный слой, что обеспечивает износостойкость и задиростойкость покрытия [17–20].

5. Результаты исследований влияния комплексной обработки на работоспособность пары шейка-вкладыш

Для выявления влияния комплексной обработки на работоспособность пары шейка-вкладыш, были проведены сравнительные лабораторные исследования на образцах материалов, из которых изготовлены коренные и шатунные шейки коленчатого вала, а также их вкладыши (табл. 1).

Оценка эксплуатационных свойств проводилась согласно требованиям ГОСТ 23.224-86 и РД 50-339-82 на машине трения ШЦ-2.

Результаты испытаний сведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов материалов

Материал	Содержание химических элементов, %										
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ma	Cu	As	Fe
Чугун ВПЧ 60-2	3,3–3,5	2,3–3,5	0,6–0,7	0,015	0,09	0,4–0,6	1,01–1,2	0,9–1,1	–	–	–
Сталь 10 ГОСТ 1050-88	0,07–0,14	0,17–0,37	0,35–0,65	до 0,04	до 0,035	до 0,15	до 0,25	–	до 0,25	до 0,08	~98

Таблица 2

Результаты по износу, задируобразованию и коэффициенту трения в классическом варианте термообработки и с нанесением антифрикционного покрытия

Вид обработки	Износ, мм	Нагрузка задируобразования, кН	Значение коэффициента трения, <i>f</i>
Термическая обработка	0,32	1,7	0,17
Комплексная обработка	0,1	2,0	0,01–0,02

6. Выводы

Результаты проведенных исследований по применению комплексной технологии обработки, позволили заключить следующее:

- ➔ значение износа и значение коэффициента трения в модифицированном поверхностном слое уменьшилось;
- ➔ нагрузка задируобразования, в сравнении с классической обработкой, увеличивается.

Полученные новые эксплуатационные свойства поверхности позволяют повысить работоспособность пары шейка-вкладыш и коленчатого вала в целом.

Все это дает основание использовать комплексную технологию восстановления в ремонтном производстве коленчатых валов дизелей транспортного назначения.

Литература

1. Анализ эффективности существующих методов ремонта коленчатых валов дизеля 5Д49 [Электронный ресурс] / Сб. науч. тр., Укр. гос. ак-я. ж/д транспорта. – Режим доступа: URL: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Znpudazt/2009_107/n107-71. – 2009. – Загл. с экрана.
2. Гаркунов, Д. Н. Триботехника [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.
3. Канарчук, В. Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств [Текст] / В. Е. Канарчук, А. Д. Чигринец. – Киев: Вища школа, 1993. – 237 с.
4. ГОСТ 23465-79. Дизели автомобильные. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 6 с.
5. Дискретная обработка – эффективный способ упрочнения деталей машин [Электронный ресурс] / Вестник НТУ «ХПИ» – Режим доступа: http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/Наукова_періодика/mekhmash/2010_1/8Savch.pdf. – 2010 г. – Загл. с экрана.
6. Повышение надежности трибосистемы «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника» судовых необоротных дизелей технологическими методами [Электронный ресурс] / материалы международной науч.-практ. интернет – конф., 18–29 июня 2013 г. – Режим доступа: URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/transportation-213/maintenance-and-repair-of-transportation-213/18291-213-425>. – 30.06.2013 г. – Загл. с экрана.
7. Нечаев, Г. И. Улучшение эксплуатационных характеристик подвижного состава за счет улучшения технологии ремонта его узлов [Текст] / Г. И. Нечаев, О. М. Балицкая // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 4(158), ч. 2. – С. 126–131.
8. Дьяченко, С. С. Исследование ремонтпригодности тепловозного коленчатого вала [Текст] / С. С. Дьяченко, Б. В. Савченко, В. Г. Гончаров, И. В. Понамаренко, С. И. Аксенова, В. М. Сапожников // Локомотив-информ. – 2007. – С. 16–17.
9. Елизаветин, М. А. Повышение надежности машин [Текст] / М. А. Елизаветин. – М.: Машиностроение, 1985. – 309 с.
10. Плазменные технологии упрочнения при ремонте подвижного состава [Электронный ресурс] / ООО «Науч.-тех. центр Плазер». – Режим доступа: URL: <http://www.plazer.com.ua/articles.html>. – Загл. с экрана.

11. Капитальный ремонт автомобилей [Текст] : учеб. / под ред. Р. Е. Есенберлина. — М.: Транспорт, 1989. — 335 с.
12. Кравченко, С. А. Повышение надежности деталей двигателей методом дискретного упрочнения [Текст] / С. А. Кравченко, В. Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. — 2009. — № 1. — С. 97–99.
13. Шапкин, Н. П. Органомодифицированные алюмосиликаты как геомодификаторы трения [Текст] / Н. П. Шапкин, Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев, А. Л. Шкуратов // Журнал прикладной химии. — 2012. — Т. 85, вып. 10. — С. 1570–1576.
14. Foundry experien a silicon – free ironmagnesium nodulariser / Brit. Foundriman. — 1982. — 75, № 5 – XV, XVI, XVII.
15. Y. Lin, M. J. Kramer, A. J. Thom, and M. A. Kine. Oxidation Behavior of Multiphase Nb-Mo-Si-B Intermetallics // Metallurgical and Materials Transactions. A. 2005, v. 36, p. 601–608.
16. Tatsuo Tabaru et al. Develomment of Mo – (Si, Al)₂ – Base Oxidation – Resistant Coating on Nb – Base Structural Materials // Metallurgical and Materials Transactions. A. 2005, v. 36, p. 617–626.
17. Тимофеев, С. С. Влияние технологических параметров алюмохромофосфатирования на эксплуатационные свойства деталей цилиндра-поршневой группы дизелей [Текст] / С. С. Тимофеев, И. И. Федченко, В. Н. Остапчук // 36. наук. праць НТУ «ХПІ» Резание и инструмент в технологических системах. — 2007. — № 72. — С. 155–159.
18. Terao N. New phases of niobium nitride – «Less – Common Metal». 1971, 23. № 2. — p. 159–169.
19. E. W. Lee, I. Cook, A. Khan, R. Mahapatra. The oxidation resistance of MoSi₂ composites IOM. 1991, № 3, p. 54–57.
20. R. Edward, Doering, J. George Havrilla, Thomasin C Miller. Disilicide diffusion coating inspection micro x-rag fluorescence imagin // Journal of Nondestructive Evaluation. 2004, v. 23, № 3, p. 95–105.

Abstracts. Most of the known methods, applied in production for hardening and lifetime restoration of main journals and crankpins are used only in the restoration process of small crankshaft journals (in automobile and tractor engines). Most standard hardening techniques and traditional wear-resistant coating technologies do not provide the required level of increasing wear resistance and fatigue strength of parts simultaneously.

Complex technology for restoring the operational integrity of transport diesel engine crankshafts is considered in the paper.

Its feature is that the product is plunged into the solution of silicate salts after the traditional heat treatment and HFC hardening that leads to the antifriction layer formation on the treated surface.

Using this complex of operations within one technological cycle will allow improving the surface operational properties of main journals and crankpins, and, as a result, the repair technology efficiency of transport diesel engine crankshafts as a whole.

Keywords: crankshaft, tribosystem, surface layer, restoration, hardening.