

УДК 621.434-242.004.67

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВКЛАДЫШЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

*канд. техн. наук, доц. Т.В. ВИГЕРИНА;
канд. техн. наук, доц. В.А. ФРУЦКИЙ; В.В. КОСТРИЦКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрен процесс восстановления вкладышей коленчатого вала. Восстановление проводится химическими методами в несколько этапов. Проанализированы различные варианты покрытий, в частности покрытия, общая толщина которых составляет 25 мкм, причем толщина рассматриваемого подслоя – 125 мкм. Свойства покрытий различаются по антифрикционным показателям трибосопряжения. Сделаны выводы, что изучаемые покрытия являются гетерогенными и многокомпонентными; в них присутствуют как декоративные, так и прирабочные слои; толщины слоев имеют приблизительно одинаковые значения.

Ключевые слова: *износостойкость, вкладыши подшипника, коленчатый вал, восстановление, гальванопокрытие, приспособление для растачивания.*

Введение. Восстановление изношенных и поврежденных деталей – важный резерв экономии трудовых и материальных ресурсов. Так, например, при производстве деталей к автомобилям расходы на материалы и изготовление заготовок (отливок, поковок, штамповок) достигают 70...75% от их стоимости. В то же время эти затраты при восстановлении деталей в зависимости от способа восстановления составляют 6...8%, так как заготовкой служит сама деталь, причем обрабатываются только те поверхности, которые имеют дефект. Парк эксплуатируемого оборудования и автомобилей сильно устарел и изношен. Так, по данным Белгоскомстата, только парк эксплуатируемых автомобилей Витебской области имеет износ 60 и более процентов, отдельные машины работают по 20...25 лет, следовательно, существует острая необходимость ремонта. В связи с нехваткой металла всё более пристальное внимание обращают на ремонт и восстановление деталей и узлов автомобилей с привлечением собственных восстановительных производств [1].

Создание технологии восстановления вкладышей коленчатых валов большегрузных автомобилей, задействовав резервы собственного восстановительного производства, в современных условиях актуально и является целью представляемого исследования.

Условия и методы исследования. Проанализировав объекты-аналоги, наиболее близким и доступным по возможностям моделирования является устройство для проведения трибологических испытаний, применяемое в машине трения МИ-ИМ типа «Амслер». Однако известное устройство характеризуется недостатком – отсутствием возможности изменения цикличности прилагаемых нагрузок, что приводит к недостаточной адекватности моделирования процессов истирания и низкой степени достоверности результатов испытаний. Кроме того, отсутствие возможности проведения испытаний с нагрузками на пару трения в области 0...170 Н влечет ограничения в используемых материалах и сужает диапазон проведения испытаний.

Для моделирования условий работы трибопар с переменными нагрузками за основу были приняты режимы работы подшипников скольжения, которые задействованы в большом количестве механизмов кривошипно-шатунного типа, в том числе и в двигателях внутреннего сгорания.

Для удовлетворения требований, предъявляемых к модели трибоузла, разработано специальное приспособление, которое содержит динамический нагружатель в виде эксцентрикового вала с возможным различным рабочим профилем, установленный контактно и соосно с контртелом, выполненным в виде сектора втулки и закрепленным в зажимном узле, и пружину, соединенную с контртелом посредством кинематической связи.

Для моделирования реальных условий работы проведена доработка машины трения СМЦ-2, стандартно применяемой для проведения исследований по износостойкости материалов [2; 3]. В качестве образцов вала применяли диски, вырезанные из коленчатого вала. В качестве контртела использовали серийные восстанавливаемые втулки, из которых вырезали сегмент размером 12×12 мм и закрепляли его в специальном приспособлении. Диски, имитирующие валы, изготавливали с эксцентриситетом и применяли приспособление для возможности секторного нагружения вала. Максимально допустимое давление на узел скольжения определяли по условию прочности материала вкладыша. Расчет нагрузок на пару «вал – вкладыш» проводился по контурным давлениям.

Результаты исследования и их обсуждение. Процесс восстановления вкладышей коленчатого вала (охватывающий 45...55% деталей ремонтного фонда), по оценкам [4–6], содержит очистку, дефектацию, растачивание, нанесение гальванических покрытий, контроль, маркировку и упаковку.

Очистку деталей производили в течение 3 мин в растворе Лабомида-203 (20...30 г/л) при температуре 60...80 °С. Дефектацию осуществляли путем осмотра и измерения толщины детали на приспособлении. Диаметральный размер вкладыша в свободном состоянии в направлении торцов должен превышать номинальный размер на 0,5...1,0 мм. В работе рассмотрены два варианта процесса восстановления вкладышей в зависимости от значения их износа [7; 8].

При износе антифрикционного слоя до 0,03 мм вкладыши растачивают, наносят приработочное трехкомпонентное покрытие толщиной 25 мкм, а затем декоративное покрытие толщиной 2...3 мкм. Приработочное покрытие состоит из олова (8...12%), меди (2...3%) и свинца (остальное). Декоративное покрытие состоит из олова и свинца, содержание олова составляет 8...10%.

При этом на этапе интенсивной приработки вкладыши, восстановленные по *методике № 1*, показали значения износа, в 2,5 раза превышающие базовый вариант. Затем значения износа резко снижаются и к моменту окончания цикла приработки абсолютные значения износа становятся меньше износа нового вкладыша. По нашему мнению, это может быть связано на первом этапе с недостаточной несущей способностью приработочного покрытия, которое не может демпфировать пиковые нагрузки, что приводит к интенсивному изнашиванию вкладыша в целом и преобладанию пластических деформаций режущего типа. Затем частицы свинца, олова, меди (в основном) перераспределяются по рабочей поверхности вкладыша и играют роль антифрикционных структур, при этом в качестве армирующего каркаса выступает структура основного металла. Это косвенно отражается в уменьшении суммарной потери веса на этапе установившегося износа. В связи с присутствием меди на рабочей поверхности вкладыша не исключена возможность переноса ее частиц на рабочую поверхность вала, что ведет к нивелированию резко выступающих неровностей поверхности и уменьшению деформационных процессов от резания. Дальнейшее снижение абсолютной разницы между износом нового вкладыша и вкладыша, восстановленного по *методике № 1*, также может свидетельствовать в пользу этого предположения. Однако в связи с тонкостью слоев и нюансами перераспределения материала данный постулат нуждается в дополнительном обосновании и дальнейших исследованиях.

При износе более 0,03 мм по рекомендациям [9; 10] производят предварительную обработку резанием, наносят слой сплава СОС-6-6 толщиной 0,125 мм и окончательно обрабатывают поверхность по *методике 2*.

Сплав СОС-6-6 состоит из олова (5,5...6,5%), сурьмы (5,5...6,5%) и свинца (остальное).

Вкладыши растачивают в приспособлении (рисунок 1) на отделочно-расточном станке мод. КК-4401.

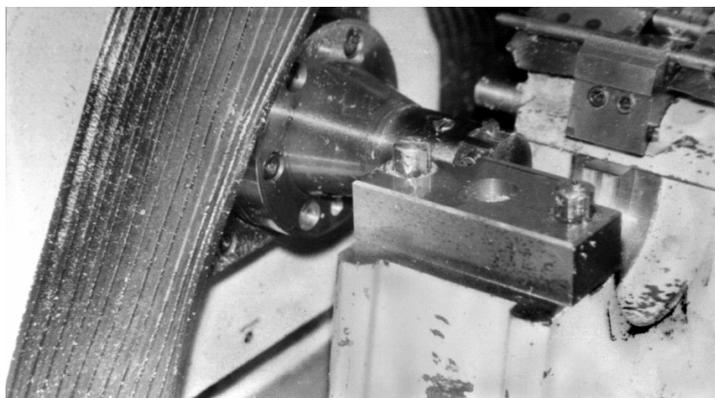


Рисунок 1. – Приспособление для растачивания вкладышей коленчатого вала на станке мод. КК-4401

Нанесение гальванических покрытий содержит следующие операции:

- электрохимическое обезжиривание на аноде и катоде без перемешивания раствора в электролите состава Na_2PO_4 (20...40 г/л) и Na_2CO_3 (20...40 г/л) при температуре 60...70 °С, плотности тока 3,5...5,0 А/дм² в течение 3 мин;
- одноступенчатая горячая промывка в воде при температуре 70...90 °С в течение 1 мин;
- одноступенчатая холодная промывка в воде при температуре 18...25 °С в течение 1 мин;
- травление с осветлением в водном растворе состава HNO_3 (420 г/л) и HCl (420 г/л) при температуре 18...25 °С в течение 1 мин;
- двухступенчатая промывка в холодной воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;
- цинкатная обработка в водном растворе состава NaOH (450...525 г/л), ZnO (80...100 г/л), FeCl_3 (1,0...1,2 г/л) и сегнетовой соли (10...15 г/л) при температуре 18...25 °С в течение 0,5 мин;

- повторяются операции двухступенчатой промывки в холодной воде, травления с осветлением, промывки в холодной воде, цинкатной обработки с промывкой в холодной воде;

- никелирование с перемешиванием в электролите состава $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (285...312 г/л), $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (40...50 г/л), H_3BO_3 (40 г/л) и H_2O_2 (0,15...2 г/л) при температуре 45...50 °С и катодной плотности тока 2,0...23,2 А/дм². Толщина покрытия при этом достигает 2,5 мкм;

- двухступенчатая промывка в холодной воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;

- осаждение баббита СОС-6-6 в электролите состава $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ (185 г/л), $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ (74 г/л), $\text{Sb}(\text{BF}_4)_3$ (18,8 г/л), HVO_3 (25 г/л), желатин (0,5...1,0 г/л) и резорцин (5...7 г/л) при температуре 18...25 °С, плотности тока 4 А/дм² в течение 125 мин. Толщина покрытия при этом достигает 125 мкм;

- нанесение прирабочного покрытия с центральным анодом из сплава Sn (8...10%) и Pb (остальное) в электролите состава $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ (331...472 г/л), $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ (49,2...70,4 г/л), $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ (10...15 г/л), HBF_4 (70...100 г/л), H_3BO_3 (30 г/л), резорцин (5...6 г/л) при температуре 18...25 °С, плотности тока 4 А/дм² в течение 250 с. Толщина покрытия при этом достигает 25 мкм;

- двухступенчатая промывка в холодной воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;

- нанесение декоративного покрытия в электролите состава: $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ (185 г/л); $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ (50...74 г/л); HVO_3 (25 г/л); желатин (0,5...1,0 г/л); резорцин (5...7 г/л) – при температуре 18...25 °С, плотности тока 1...2 А/дм² в течение 1...2 мин. Толщина покрытия при этом достигает 2 мкм;

- одноступенчатая холодная промывка в воде при температуре 18...25 °С в течение 1 мин;

- промывка в горячей воде при температуре 70...90 °С в течение 1 мин.

Затраты на восстановление вкладышей составляют 10...50% от стоимости новых деталей.

Анализируя поведение вкладышей, восстановленных по методике 2, выявлено уменьшение износа по сравнению с базовым вариантом и в 3,2 раза меньший износ, чем у вкладышей, восстановленных по методике № 1.

Причем при комплексном применении восстанавливающих методик общий износ заметно снижается как на этапе приработки, так и на этапе установившегося износа, что можно объяснить наличием сформированных структур, содержащих фазы, выполняющие различные функции: армирующий каркас, антифрикционные свойства, возможность избирательного переноса. При этом основной подслоем толщиной 125 мкм, очевидно, берет на себя как роль армирующего каркаса, так и роль демпфирующего элемента. Так, сурьма в соединении со свинцом и в форме оксидов увеличивает твердость и прочность основы вкладыша, выступая тем самым в качестве армирующего каркаса. В то же время сурьма, входящая в состав подслоя, совместно с оловом и медью обладает антифрикционными свойствами, что также положительно сказывается на снижении износа вкладыша в целом.

Таким образом, можно отметить возможные причины снижения износа у втулок, восстановленных по методике 2:

- в период приработки – высокая жесткость матрицы и образование вторичных структур оксидного типа на основе сурьмы и свинца, создающие армирующий каркас, способный принять и демпфировать пиковые нагрузки, что, в свою очередь, приводит к общему снижению износа в системе «вал – вкладыш». При этом на этапе приработки основное покрытие, содержащее соединения сурьмы, не входит в рабочую зону и является в этом случае подслоем, который как раз и создает армирующий каркас, работающий на всем периоде приработки и в начальные периоды установившегося износа;

- в период установившегося износа – слой, содержащий соединения сурьмы, начинает участвовать в работе трибосопряжения и помимо армирующих свойств матричного подслоя начинает выполнять функции уменьшения изнашивания, а при минимальном содержании меди, – избирательного переноса.

При наличии интерметаллических соединений с участием олова и меди создаются соединения, придающие антифрикционные свойства и способствующие возникновению избирательного переноса, способствуя тем самым снижению общего износа трибосопряжения на всем протяжении работы основного слоя в период установившегося износа.

Результаты триботехнических испытаний представлены в таблице.

Износ вкладышей при циклической нагрузке

Вкладыши	Износ мг/м·10 ⁻⁸ на пути трения L, м		
	2000	4000	6000
Новый	0,31	0,63	1,68
Восстановленный по методике 1	0,8	1,0	1,4
Восстановленный по методике 2	0,25	0,35	0,465

Как видно из приведенных результатов, при известных методиках восстановления износ втулок растет незначительно в течение всего времени испытаний, что соответствует реальным условиям истирания трибопар кривошипно-шатунного механизма. Проведенные исследования подтвердили актуальность разрабатываемого методического подхода.

Резюмируя результаты проведенного исследования, можно сделать следующие **выводы**:

- изучаемые покрытия являются гетерогенными и многокомпонентными;
- в покрытиях присутствуют как декоративные, так и приработочные слои, причем толщины слоев имеют приблизительно одинаковые значения и в сумме составляют около 30 мкм;
- вкладыши, восстановленные по методике 2, отличаются наличием рабочего слоя толщиной порядка 125 мкм, который исполняет функцию армирующего каркаса, способствует образованию антифрикционных структур, уменьшая тем самым общий износ трибосопряжения.

Предложенные процессы восстановления вкладышей коленчатого вала внедрены в ремонтное производство впервые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бизнес-Беларусь 2000. Каталог / сост. Ю.М. Шушкевич. – Минск : Белфакта, 1999. – 872 с.
2. Хебды, М. Справочник по триботехнике : в 3-х т. ; под общ ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1989. – Т. 2 : Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения. – 416 с.
3. Gwyn, Michael A. Cost-Effective Casting Design: What Every Component Designer Should Know [Электронный ресурс] / Michael A. Gwyn ; American Metalcasting Consortium. – Режим доступа: www.giwindustries.com.
4. Engineering and functional materials : Proceeding of the Second International Scientific Conference. – Lviv 14–16 October 1997. – Lviv, 1997.
5. Жорник, В.И. Рекомендации по ремонту и реконструкции тяжело нагруженных узлов скольжения с использованием композиционных материалов / В.И. Жорник, А.С. Калиниченко, В.Я. Кезик. – Минск : ИТК НАНБ, 2000. – 88 с.
6. Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин : темат. сб. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 1999. – 370 с.
7. Гуляев, Б.Б. Синтез сплавов. Основные принципы. Выбор компонентов / Б.Б. Гуляев. – М. : Металлургия, 1984. – 158 с.
8. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Минск : ФТИ ; Новополоцк : ПГУ, 1999. – 133 с.
9. Способ восстановления цилиндрических деталей : а. с. SU 1754397 / Ф.Я. Рудик, М.В. Зимин. – Оpubл. 15.08.1992.
10. Способ восстановления деталей : а. с. SU 1234147 / А.П. Цакун, А.М. Ищенко, М.С. Куприянов. – Оpubл. 30.05.1996.

Поступила 05.02.2018

RESTORATION OF THE BENT SHAFT INSERTS

T. VIGERINA, V. FRUCKI, V. KOSTRICKI

The process of restoration of crankshaft inserts is considered. Recovery is carried out by chemical methods in several stages. Various variants of coatings are considered. The total thickness of the coatings is 25 μm , while the variant under consideration has a sub-layer 125 μm in thickness. The properties of coatings differ in the antifriction characteristics of tribocoupling. It is concluded that the studied coatings are heterogeneous and multicomponent; there are both decorative and run-in layers in them; the thicknesses of the layers have approximately the same values.

Keywords: wear resistance, bearing shells, crankshaft, restoration, electroplating, boring device.