

ГЕРВИКОН
HERVICON



ЭККОН
ЕККОН



6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина

*XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"
Международный форум "НАСОСЫ-2011"
Семинар "ЭККОН-11"*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВКЛАДЫШИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Марцинковский В.С.¹, Тарельник В.Б.², Плякин А.В.³

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты анализа проблем изготовления и эксплуатации баббитовых подшипников скольжения и намечены перспективы повышения их качества.

ВВЕДЕНИЕ

Качество поверхности оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей. Известно, что 80-85 % машин выходит из эксплуатации в результате изнашивания деталей, и только 15-20 % - по другим причинам. Поэтому проблема уменьшения износа рабочих поверхностей в узлах трения для повышения их надежности и эксплуатационного ресурса имеет особое значение.

Решение проблемы, связанной с увеличением сроков службы машин, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения. При большом разнообразии условий работы деталей наиболее нагруженным у них является поверхностный слой. Поэтому реальный ресурс

¹ Марцинковский Василий Сигизмундович, к.т.н., доц, Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина.

² Тарельник Вячеслав Борисович, д.т.н., профессор, Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина.

³ Плякин Алексей Владиславович, зам. гл. механика ОАО «Гродно Азот». г. Гродно, Беларусь.

работы машины напрямую зависит от несущей способности поверхностей деталей, которая определяется качеством их поверхностного слоя.

Как на Украине, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья, ученые занимаются созданием новых, более эффективных антифрикционных покрытий.

Таким образом, создание поверхностных слоев с особыми свойствами для узлов трения скольжения, в данном случае подшипников скольжения (ПС), является актуальной задачей.

1. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Надежность ПС, при прочих равных условиях, в значительной мере зависит от качества его изготовления, а также проведения монтажных и ремонтных работ, выполнения всех требований конструкторской и технологической документации.

Качество поверхностного слоя ПС зависит от материала покрытия, метода нанесения, соблюдения технологического процесса и др.

При изготовлении корпусов и вкладышей подшипников (ВП), а также подшипниковых шеек (цапф) роторов компрессоров и насосов всегда имеются отклонения от их идеальной геометрической формы, которые называются погрешностями. Дополнительные неточности привносятся при установке ротора. Накопление погрешностей значительно снижает реальную площадь контакта цапфы и ВП, что является причиной перенапряжения антифрикционного слоя, особенно в период приработки [1].

При изготовлении вкладышей ПС наиболее широко применяют антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основе (баббиты). Основные требования, предъявляемые к антифрикционным сплавам, определяются условиями работы ВП. Эти сплавы должны иметь достаточную твердость, но не очень высокую, чтобы не вызвать сильного износа вала; сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений; удерживать смазочный материал на поверхности; иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником. Кроме того, в значительной степени на работоспособность ПС влияет качество сцепления антифрикционного баббитового слоя с подложкой.

Существенным недостатком баббитов является то, что с повышением температуры у них снижаются все показатели механической прочности, в особенности сопротивление усталости.

Указанные явления имеют место при нарушении нормальной работы ПС из-за: превышения несущей способности (допустимой нагрузки на подшипник) обедненной смазки; недостаточного охлаждения масла;

некачественного масла; попадания в смазку абразивных включений; повышенной механической вибрации вала.

Одной из существенных причин выхода ПС из строя является некачественная заливка баббита (плохое приставание баббита к поверхности вкладыша, пористость и др.) и, как следствие, невозможность формирования масляного клина (рис. 1).

Качество прилегания баббита к корпусу вкладыша, как правило, проверяют методом цветной дефектоскопии (рис. 2). Существуют и другие методы: проверка ультразвуком, визуальный осмотр, путем обстукивания легким молотком, погружением на 1,5-2 часа в ванну с керосином, с последующей протиркой насухо и выдавливанием керосина или пузырьков воздуха пальцами, и др.



Рисунок 1 - Некачественная заливка баббитового слоя подшипника скольжения



Рисунок 2 - Проверка качества адгезии антифрикционного слоя методом цветной дефектоскопии

Из вышесказанного следует, что причиной снижения долговечности ПС являются факторы, формирующиеся как на стадии изготовления, так и при эксплуатации.

Традиционно баббиты заливают на подогретые вкладыши (250°C) при температуре $450\text{--}480^{\circ}\text{C}$. Чаще применяют центробежную заливку. Заливают также в кокиль под давлением, толщина заливки в подшипниках 1-3 мм [2].

Как правило, перед заливкой баббитов поверхность стального вкладыша подвергается лужению. Переходной слой, обуславливающий прочную металлическую связь, при этом отсутствует, что отрицательно влияет на качество заливки баббита, теплопроводность и работоспособность подшипника в целом.

На основании анализа технологии изготовления вкладышей ПС, изучения условий их работы и причин выхода из строя предлагается на стальную подложку перед лужением оловом наносить промежуточный слой из меди.

Сравнение достоинств и недостатков различных технологий нанесения покрытий для изменения качества поверхностных слоев деталей позволяет обоснованно выделить как наиболее перспективный метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ).

Формирование методом ЭЭЛ промежуточного слоя из меди, прочно сцепленного, с одной стороны, со стальной подложкой, а с другой - со слоем олова (образование твердых растворов замещения) и баббита, обеспечивает более прочное сцепление стальной подложки с баббитом, а также более интенсивный отвод тепла из зоны трения [3].

Учитывая то, что силы адгезии, как и молекулярные силы притяжения, прямо пропорциональны площади фактического контакта, а также то, что при ЭЭЛ шероховатость обработанной поверхности увеличивается, а, следовательно, увеличивается и площадь фактического контакта при лужении, следует ожидать наиболее прочного сцепления олова с нанесенным слоем из меди.

В [4] представлены результаты исследований прочности сцепления антифрикционного слоя из баббита (Б83 и Б88) с подложкой из стали 20, которые проводились при испытаниях на сжатие по ГОСТ ИСО 4386-2-99 методом отрыва антифрикционного баббитового слоя от подложки. Для этого изготавливались заготовки (втулки) подшипников скольжения размером $\varnothing 100/\varnothing 80$ мм, $b = 45$ мм из стали 20. Переходной слой из меди наносился на внутренних поверхностях втулок методом ЭЭЛ в среде аргона.

Конструкция приспособления для испытания прочности соединения антифрикционного слоя с основой и размеры испытываемых образцов, изготовленных из втулок, приведены на рис. 3, соответственно а, и б.

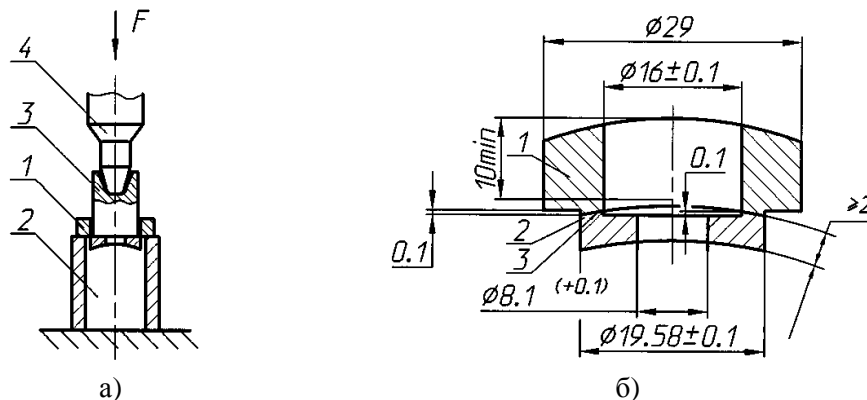


Рисунок 3 - Приспособление для испытания на сжатие:

- а) 1 – испытуемый образец, 2 – втулка опорная, 3 – промвставка, 4 – толкатель; испытываемый образец; б) 1 – основа, 2 – баббит, 3 – испытуемый переходной слой

Установлено, что применение переходных слоев из меди, наносимых методом ЭЭЛ в защитной среде (аргон), повышает прочность сцепления стальной подложки с антифрикционным баббитовым слоем по сравнению с традиционной технологией (сталь 20 + баббит) на 35%.

Учитывая то, что в процессе работы ПС на антифрикционный баббитовый слой действуют сдвигающие нагрузки, для определения влияния переходных слоев на прочность сцепления баббитового слоя с подложкой немаловажным является проведение испытаний на сдвиг.

В [5], с целью определения влияния переходных слоев, сформированных методом ЭЭЛ, на прочность сцепления баббитового слоя с подложкой проводились исследования методом сдвига пояска.

Для проведения исследований изготавливались заготовки (втулки) подшипников скольжения размером $\varnothing 100/\varnothing 70$ мм, $b = 45$ мм из стали 20.

ЭЭЛ внутренних поверхностей втулок производилось на установке с ручным вибратором модели «Элитрон - 22А» в среде аргона. В качестве электродов использовались следующие материалы: медь, олово, баббит Б88.

Таким образом, были изготовлены 4 серии образцов:

1 (традиционная технология) – сталь 20 – лужение оловом – центробежная заливка баббита Б88;

2 – сталь 20 – ЭЭЛ медь – лужение оловом – центробежная заливка баббита Б88;

3 – сталь 20 – ЭЭЛ оловом – центробежная заливка баббита Б88;

4 – сталь 20 – ЭЭЛ баббитом – центробежная заливка баббита Б88.

Далее внутренняя поверхность втулки растачивалась до $\varnothing 72,5$ мм таким образом, чтобы на образце остался поясok шириной 4мм и толщиной 3,5мм. Поясок состоит из стали 20 и покрытия. Установка определения прочности сцепления баббитового слоя с подложкой методом сдвига пояска показана на рисунке 4.

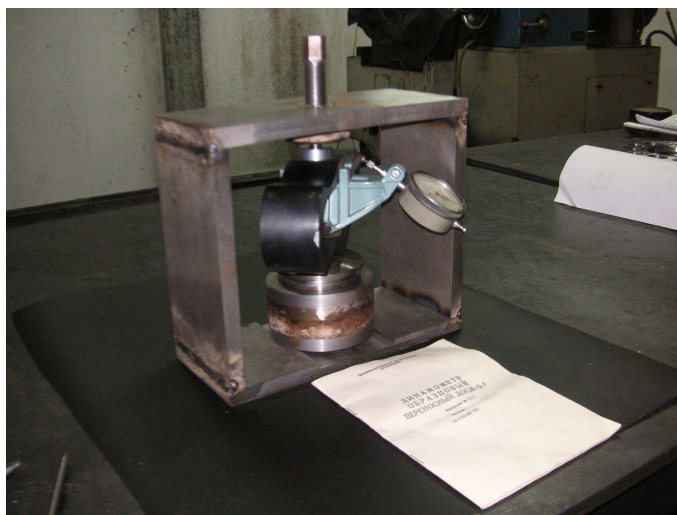


Рисунок 4 - Установка для определения прочности сцепления баббитового слоя с подложкой

Установка работает следующим образом: давление на антифрикционный слой осуществляется пуансоном $\varnothing 68,5$ мм через винтовую пару приспособления. Значения усилий снимаются динамометром ДОСМ-3-20У по индикатору. Значения индикатора переводятся в усилия по паспорту динамометра. Результаты исследований представлены в таблице 1.

На рисунке 5 показаны образцы после отрыва пояска из баббитового слоя, нанесенного по традиционной технологии (рис. 5, а), с переходным слоем из меди (рис. 5, б) и переходным слоем из олова (рис. 5, в).

В результате проведенных исследований установлено, что нанесение на стальную подложку переходного слоя из меди повышает прочность сцепления баббита с основой, по сравнению с традиционной технологией нанесения баббита, на 27-30%. На рис. 5, б видно, что разрушение пояска происходит не по линии контакта антифрикционного материала и основы, а по месту приложения нагрузки. Это свидетельствует о том, что адгезионная связь в переходном слое больше или равна прочности антифрикционного материала. Нанесение переходных слоев из олова и баббита приводит к снижению адгезионной связи подложки с баббитом на 15-20% по сравнению

с традиционной технологией. На рис. 5, в видно, что разрушение пояска происходит по линии контакта баббита с основой.

Таблица 1 - Результаты прочности сцепления антифрикционного слоя с подложкой из стали 20

| Материал антифрикционного слоя | Максимальная нагрузка до разрушения, Н | Прочность соединения, Н/мм ² | Характер разрушения |
|-----------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| Лужение оловом – Б88 | 5600 | 13,0 | Разрыв по границе баббита с основой |
| Лужение оловом – Б88 | 5600 | 13,0 | Разрыв по границе баббита с основой |
| Медь (ЭЭЛ) – лужение оловом – Б88 | 7100 | 16,5 | Разрыв по баббиту |
| Медь (ЭЭЛ) – лужение оловом – Б88 | 7300 | 17,0 | Разрыв по баббиту |
| Олово (ЭЭЛ) – Б88 | 4700 | 11,0 | Разрыв по границе баббита с основой |
| Олово (ЭЭЛ) – Б88 | 4500 | 10,4 | Разрыв по границе баббита с основой |
| Б88 (ЭЭЛ) – Б88 | 4600 | 10,7 | Разрыв по границе баббита с основой |
| Б88 (ЭЭЛ) – Б88 | 4700 | 10,9 | Разрыв по границе баббита с основой |

В специализированной исследовательской лаборатории ОАО «Гродно Азот» проводились сравнительные исследования баббитовых заготовок, предоставленных ООО «ТРИЗ» ЛТД. Для анализа были предоставлены:

1. Половина кольца $\varnothing 92 \times \varnothing 77 \times 55$, толщина баббита 2,5-2,8 мм, метод нанесения баббита – сверхзвуковое напыление с использованием оборудования ДИМЕТ (образец 1).

2. Треть кольца $\varnothing 100 \times \varnothing 77 \times 95$, толщина баббита 2,7 мм, метод нанесения баббита – центробежная заливка ООО «ТРИЗ» (образец 2).

3. Митчель 88x67x3 x20, толщина баббита 1,3-1,4 мм, метод нанесения баббита – наливная заливка ООО «ТРИЗ» (образец 3).

4. Митчель 66x45x37x15, толщина баббита 2,3 мм, метод нанесения баббита – наливная заливка ООО «ТРИЗ» (образец 4).

5. Митчель 66x45x37x15, толщина баббита 2,3 мм, метод нанесения баббита – наливная заливка ООО «ТРИЗ» (образец 5).

Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

Следует отметить, что поры, выявленные цветной дефектоскопией на торце образца № 2, образуются в результате ЭЭЛ стальной подложки медью и присутствуют только на наружной поверхности заготовки. На поверхностях где производилось лужение оловом и заливка баббитом поры отсутствуют. Различие микроструктуры образцов 4 и 5, изготовленных по одной технологии, но в разное время объясняется качеством используемого баббита.

2. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПС

С целью повышения качества изготовления ПС в ООО «ТРИЗ» проводились исследования возможности нанесения баббита на ВП методом ЭЭЛ. В качестве материала катода использовалась сталь 20, являющаяся представителем конструкционных сталей и применяемая для изготовления подложек ВП. Эта низкоуглеродистая нелегированная сталь применялась для исследований в состоянии поставки с твердостью основы 170HV и ферритно-перлитной структурой. Материал стали 20, соответствует ГОСТу 1050-88.

В качестве материала анода использовался баббит В88 и банковское серебро 99,96% чистоты. Проверка баббита по основным элементам проверялась на соответствие ГОСТу 1320 – 74.

Толщину слоя покрытия измеряли микрометром, а шероховатость поверхности - на приборе профилографе - профилометре мод. 201 завода «Калибр» путем снятия и обработки профилограмм.

Нанесение антифрикционного покрытия осуществлялось в два этапа на установке электроэрозионного легирования «Элитрон 52А». Первоначально наносился баббит 88 на 4-м режиме при энергии разряда $W_p = 0,11$ Дж. При

последующем легировании серебром - применялся 8-й режим при энергии разряда $W_p = 2,6$ Дж.

Таблица 2 – Результаты исследований качества образцов из баббитовых заготовок, изготовленных различными способами

| Характер проводимых исследований | № образца | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Химический и спектральный анализ стальной части заготовок | Соответствует Стали 20 по ГОСТ 1050-88 | Соответствует Стали 20 по ГОСТ 1050-88 | Соответствует Стали 20 по ГОСТ 1050-88 | Соответствует Стали 20 по ГОСТ 1050-88 | Соответствует Стали 20 по ГОСТ 1050-88 |
| Химический и спектральный анализ баббита | Не соответствует по химическому составу баббиту Б83 ГОСТ 1320-74* | Соответствует по химическому составу баббиту Б83 ГОСТ 1320-74 | Соответствует по химическому составу баббиту Б83 ГОСТ 1320-74 | Соответствует по химическому составу баббиту Б83 ГОСТ 1320-74 | Соответствует по химическому составу баббиту Б83 ГОСТ 1320-74 |
| Твердость баббита | Не соответствует требованиям ГОСТ 1320-74** | Соответствует требованиям ГОСТ 1320-74 | Соответствует требованиям ГОСТ 1320-74 | Соответствует требованиям ГОСТ 1320-74 | Соответствует требованиям ГОСТ 1320-74 |
| Микроструктура наплавленного слоя*** | Неудовлетворительная | Хорошая | Неудовлетворительная | Удовлетворительная | Неудовлетворительная |
| Цветная дефектоскопия | Дефектов не обнаружено | Наличие дефектов**** | Дефектов не обнаружено | Дефектов не обнаружено | дефектов не обнаружено |

* - повышенное содержание свинца – 1,28%;

** - пониженная твердость баббита – 18,1НВ;

*** - образец 1 – обеднение (отсутствие) кубовидных кристаллов – β фазы, размер сторон составляющих очень мелкий – не более 0,005 мм; образец 2 – равномерное распределение кубовидных кристаллов – β фазы с размерами сторон 0,07 мм; образец 3 – относительно большие размеры (0,14-0,3 мм) кубовидных кристаллов – β фазы; образец 4 - равномерное распределение кубовидных

кристаллов – β фазы с размерами сторон 0,09-0,15 мм; образец 5 – относительно большие размеры (0,16-0,25 мм) кубовидных кристаллов – β фазы;

**** - повсеместно распространенные поры без преобладающей ориентации.

Таблица 3 – Прочность соединения антифрикционного слоя и металлической основы

| № образца | Максимальная нагрузка до разрушения, Fmax, Н | Площадь поверхности соединения, A, мм ² | Удельное давление, P, мм ² | Характер разрушения |
|-----------|--|--|---------------------------------------|--|
| 1 | 0* | 100 | - | Первый образец: разрушение по баббиту |
| | 0* | | | Второй образец: частично по баббиту, частично по основному металлу |
| 2 | 5000 | 100 | 50 | Первый образец: разрушение по баббиту ближе к основе |
| | 5000 | | | Второй образец: разрушение по баббиту |
| 3 | 2000** | 100 | 20 | Разрушение по баббиту |
| 4 | *** | | | - |
| 5 | *** | | | - |

* - цена деления разрывной машины 100Н. Движения стрелочного индикатора на шкале зафиксированы не были.

** - согласно требованиям ГОСТ ИСО 4386-2-99 минимальная толщина баббитового слоя на образце должна составлять 2 мм.

*** - из-за наличия большого количества отверстий изготовление образцов не представилось возможным.

В результате нанесения баббита образуются отдельные участки антифрикционного слоя, прочно сцепленные с материалом основы. Сплошность полученного покрытия составляет 40-50% покрываемой площади (рис. 6).

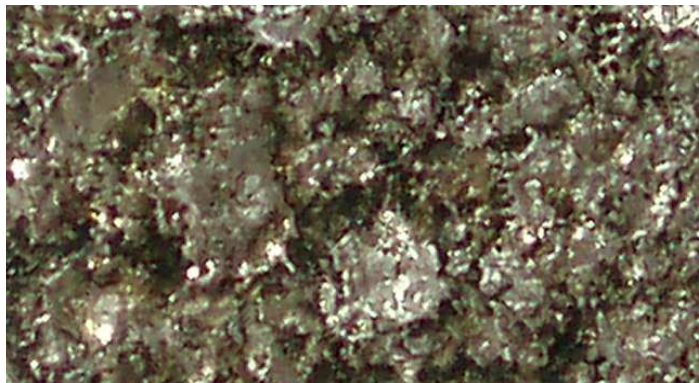


Рисунок 6 - Поверхность образца после ЭЭЛ баббитом

При последующей обработке баббитового покрытия серебром происходит выравнивание поверхности и получение равномерного слоя (рис. 7).



Рисунок 7 - Антифрикционный баббитовый слой после выравнивания серебром

При выявлении в покрытии пропусков необходимо на обнаруженных дефектных участках повторить операции по нанесению баббита и выглаживанию серебром.

Данный способ нанесения баббита на ВП позволяет формировать на стальных подложках антифрикционные слои толщиной до 0,3 мм. Производительность вышеуказанной технологии до 16 см²/час.

ВЫВОДЫ

1. Анализ проведенных исследований показывает, что применение переходных слоев из меди, наносимых методом ЭЭЛ, значительно повышает прочность соединения стальной подложки с антифрикционным баббитовым слоем.

2. Перед изготовлением баббитовых подшипников необходим входной контроль используемых материалов.

3. Новая технология, позволяющая методом электроэрозионного легирования наносить на стальные вкладыши подшипников скольжения баббит, является перспективной и требует дальнейшего совершенствования.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. В.Б. Тарельник. Повышение качества подшипников скольжения / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, Б. Антошевский: Монография.- Сумы: Издательство «МакДен», 2006.- 160 с.
2. Д.Н. Гаркунов. Триботехника / Д.Н. Гаркунов.- М.: Машиностроение, 1989.- 327 с.
3. Пат. 64613. Україна. МПК В23Н1/00 Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання // Марцинковський В.С., Тарельник В.Б.; Заявл. 17.07.03; Опубл. 15.08.06, Бюл. № 8. - 2 с.
4. Тарельник В.Б. Повышение надежности и долговечности подшипников скольжения / Тарельник В.Б., Яременко В.П., Марцинковский В.С. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.-2009.-С. 169-173.
5. Тарельник В.Б. Исследование прочности сцепляемости баббитового слоя подшипников скольжения с подложкой / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, Белоус А.В. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.- Выпуск 94.-2010.-С. 102-108.
6. Пометун С.К. Опыт ООО «ТСЗП» по увеличению ресурса оборудования методами газотермического напыления / С.К. Пометун // Химическая техника.-2009.-№ 4.- С. 8-9.
7. ДИМЕТ – новая технология нанесения металлических покрытий [ООО «Обнинский центр порошкового напыления].- Химическая техника.-2010.- № 5.- С. 29.

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF ANTIFRICTIONAL COVERINGS
PLATING ON PLAIN BEARING LINERS**

**Vasily Martsinkovsky,
TRIZ Ltd,**

**Vyacheslav Tarelnik,
Sumy National Agrarian University,**

**Alexei Plyakin,
JSC «GrodnoAzot»**

SUMMARY

Results of the problems analysis of manufacturing and operation babbit sliding bearings are presented and prospects of increase of their quality are planned.