

В. С. Марцинковский, к.т.н., доцент, директор, М. В. Гончаренко (ООО «ТРИЗ», г. Сумы, Украина)

Влияние методов формирования антифрикционных баббитовых покрытий на поверхностную энергию стальной подложки

Представлены результаты анализа влияния температуры формирования антифрикционных баббитовых покрытий на поверхностную энергию стальной подложки. Установлено наличие большей энергии связи атомов в гранецентрированной кристаллической решетке по сравнению с объемно центрированной кристаллической решеткой. Предложено использовать для формирования антифрикционного баббитового слоя метод электроэрозионного легирования.

Ключевые слова: электроэрозионное легирование, качество поверхностного слоя, шероховатость, микротвердость, баббит, энергия, атом.

Представлені результати аналізу впливу температури формування антифрикційних бабітових покриттів на поверхневу енергію сталевий підкладки. Встановлено наявність більшої енергії зв'язку атомів в гранецентрованій кристалічній решітці в порівнянні з об'ємноцентрованою кристалічною решіткою. Запропоновано використовувати для формування антифрикційного бабітового шару метод електроерозійного легування.

Ключові слова: електроерозійне легування, якість поверхневого шару, шорсткість, микротвердість, бабіт, енергія, атом.

Presented the results of the analysis of influence antifriction babbitt coatings formation temperature on the steel base surface energy. The presence of a higher binding energy of atoms in the face-centered crystal lattice is found in comparison with the body-centered lattice. Proposed to use for the formation of anti-friction babbitt layer the electroerosion alloying method.

Key words: electroerosion alloying, surface layer quality, roughness, microhardness, babbitt, energy, atom.

Введение

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

С целью решения этой проблемы, как в Украине, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья, ученые занимаются созданием новых, более эффективных антифрикционных покрытий. Для повышения работоспособности поверхностей трения деталей машин, наряду с традиционными методами, такими как поверхностное пластическое деформирование, термическая, химико-термическая и химическая обработка, применяются также и композиционные материалы типа основа покрытие, сочетающие в себе защитные свойства покрытий с механической прочностью основы. Применение покрытий обуславливается еще и тем, что разрушение детали начинается, как правило, с поверхности. Таким образом исследования процессов формирования покрытий, направленных на повышение их качества, своевременны и актуальны, а создание поверхностных слоев с особыми свойствами для узлов трения скольжения, в данном случае под-

шипников скольжения (ПС), является актуальной задачей.

Анализ основных достижений 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.

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 [1].

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.

Традиционно баббиты заливают на подогретые вкладыши (2500С) при температуре 450-4800С. Чаще применяют центробежную заливку. Заливают также в кокиль под давлением, толщина заливки в подшипниках 1-3 мм.

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.

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, а). Качество прилегания баббита к корпусу вкладыша, как правило, проверяют методом цветной дефектоскопии (рис. 1, б). 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.

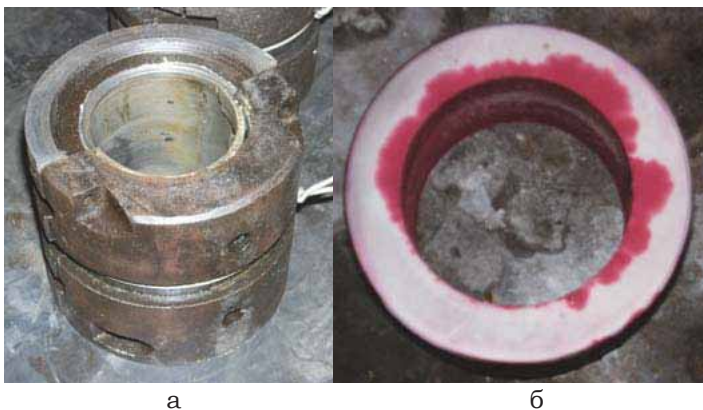


Рис. 1. Некачественная заливка баббитового слоя ПС (а) и проверка качества заливки методом цветной дефектоскопии (б)

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

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 [1].

В [2] качество покрытия характеризуется следующими свойствами: прочностью сцепления покрытия с основой, когезионной прочностью напыленного слоя, пористостью, равномерной толщиной покрытия, уровнем остаточных напряжений, однородностью структуры и свойств покрытия.

В [3] утверждается, что прочность сцепления же-

лезных покрытий с материалом детали зависит от многих факторов и условий выполнения технологического процесса. Определяющее влияние на сцепление оказывают химический состав материала детали, его термическая обработка, механические условия электрохимических операций, начальные и последующие режимы электроосаждения.

В [4] описаны способы нанесения баббита на основу вкладышей ПС, это: ручная заливка, центробежная заливка, под давлением, газотермическое напыление. Как правило, во всех случаях основой для напыления является Ст.20 (ГОСТ 1050-88). Хотя могут использоваться и другие материалы, имеющие хорошую адгезию с оловом, такие, как Ст.10, Ст.15, бронза, латунь. При заливке вкладышей с основой из чугуна поверхности, на который наносится баббитовый слой, никелируются [5].

В последние годы для изготовления и ремонта ПС нашли применение несколько новых методов: гальваническое наращивание и штамповка в температурном интервале [6, 7]. Кроме того, для нанесения антифрикционных покрытий все шире используется метод электроэрозионного легирования [8].

Следует отметить, что температура стальной подложки при различных способах нанесения антифрикционного баббитового слоя может значительно отличаться. Так, например, гальваническое наращивание протекает при комнатной температуре. Согласно [4], при газотермическом напылении, подложку подогревают до 100°C, при ручной и центробежной заливке температура лужения составляет 300±10°C, а заливки баббита 420±10°C. При электроэрозионном легировании температура разряда, возникающая между двумя электродами, в зависимости от емкости конденсатора, составляет 7200...10200 °C [9].

Согласно [10], атомы в кристаллическом твердом теле располагаются в пространстве закономерно, периодически повторяясь в трех измерениях через строго определенные расстояния, т.е. образуют кристаллическую решетку. Железо, в зависимости от температуры, может иметь две различные кристаллические решетки: объемно центрированную кубическую (ОЦК) и гранецентрированную кубическую (ГЦК). Это явление называется полиморфизмом. Температура при которой осуществляется переход из одной модификации в другую, носит название температуры полиморфного (аллотропического) превращения. Так, железо имеет две температуры полиморфного превращения: 911 и 1392 °C.

Внутри твердого тела каждый атом кристалла окружен другими атомами и связан с ними прочно по всем направлениям, а у атомов, расположенных на поверхности, с внешней стороны нет «соседей» в виде таких же атомов. В связи с этим в поверхностном слое у атомов твердого тела остаются свободные связи, наличие которых создает вблизи поверхности атомное (молекулярное) притяжение. Поверхностные атомы вследствие свободных связей обладают большей энергией, нежели атомы внутри твердого тела. Избыток энергии, отнесенной к единице поверхности, называют удельной поверхностной энергией или просто поверхностной энергией [11].

Учитывая большое количество методов формирования антифрикционного баббитового слоя на стальной подложке, протекающих при различных температурах, возникает научная и практическая необходимость определения энергии связи атомов в кристаллических решетках железа, соответствующих этим температурам.

Анализ температурных режимов формирования антифрикционного баббитового слоя показал, что при всех методах, кроме метода ЭЭЛ, в стальной подложке сохраняется решетка α -Fe, типа ОЦК.

При использовании метода ЭЭЛ высокая скорость теплоотвода приводит к тому, что в пределах толщины поверхностного слоя порядка нескольких микрометров температура быстро падает до температур плавления и соответствующих фазовых превращений. В связи с этим кристаллизация, фазовые превращения, диффузия и химическое взаимодействие, сопровождающие процесс ЭЭЛ, приводят к образованию крайне неравновесных структур с очень мелким зерном, высокой гетерогенностью по составу, структуре и свойствам [12].

Рентгенографические исследования показали, что практически во всех случаях в сформированном слое фиксируется высокотемпературная модификация железа γ -Fe и материала анода, если он претерпевает при нагреве полиморфные превращения. При этом количество γ -Fe увеличивается с ростом времени обработки независимо от используемого материала анода. После ЭЭЛ параметр решетки α -Fe уменьшается, причем это наблюдается при анодах из Fe, Cr, Mo, W, Ti, Ag и Pb, что, очевидно, связано с закалкой вакансий [9].

Таким образом, целью работы является повышение качества сцепления стальной подложки с антифрикционным баббитовым слоем путем определения энергии связи атомов в ОЦК и ГЦК решетках железа.

Изложение основного материала исследования

На примере железа подсчитаем энергию связи атомов в 1 м^3 в зависимости от типа кристаллической решетки: ОЦК и ГЦК.

На одну элементарную ячейку ОЦК решетки в целом приходится два атома: один атом в центре куба и один атом суммарно вносят атомы, располагающиеся в вершинах куба (каждый атом в вершине куба одновременно принадлежит восьми сопряженным элементарным ячейкам и на данную ячейку приходится лишь $1/8$ этого атома, а на всю ячейку $1/8 \times 8 = 1$ атом). На элементарную ячейку ГЦК решетки приходится четыре атома: из них один атом (так же, как и для ОЦК решетки) вносят атомы в вершинах куба, а три суммарно ($(1/2) \times 6 = 3$) вносят атомы, находящиеся на пересечении диагоналей граней, так как каждый из таких атомов принадлежит двум решеткам [13].

Для определения количества атомов в 1 м^3 каждой решетки необходимо найти количество элементарных ячеек этих решеток.

Согласно [13], в элементарной кубической решетке расстояние между центрами атомов, находящимися в вершинах куба обычно называют параметром a , который для ОЦК определяем по формуле:

$$a_{\text{ОЦК}} = \frac{4R}{\sqrt{3}} = \frac{4 \cdot 126 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{3}} = 2,909847 \cdot 10^{-10} \text{ м}, \quad (1)$$

где $R = 0,126 \text{ нм}$ – радиус атома Fe [14].

Для элементарной ячейки ГЦК решетки параметр a определяем по формуле:

$$a_{\text{ГЦК}} = \frac{4R}{\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot 126 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{2}} = 3,563818 \cdot 10^{-10} \text{ м}. \quad (2)$$

Далее находим количество элементарных ячеек n в 1 м^3 :

$$n = \left(\frac{1}{a}\right)^3, \quad (3)$$

для ОЦК решетки:

$$n_{\text{ОЦК}} = \left(3,436606 \cdot 10^9\right)^3 = 4,058721 \cdot 10^{28},$$

для ГЦК решетки:

$$n_{\text{ГЦК}} = \left(2,805979 \cdot 10^9\right)^3 = 2,209292 \cdot 10^{28}.$$

Зная количество атомов в элементарной ячейке каждой решетки, находим количество атомов в 1 м^3 для каждой из них:

для ОЦК решетки:

$$n_{\text{атомов ОЦК}} = 2n, \quad (4)$$

$$n_{\text{атомов ОЦК}} = 2 \cdot 4,058721 \cdot 10^{28} = 8,117442 \cdot 10^{28} \text{ (атомов)},$$

для ГЦК решетки:

$$n_{\text{атомов ГЦК}} = 4n, \quad (5)$$

$$n_{\text{атомов ГЦК}} = 4 \cdot 2,209292 \cdot 10^{28} = 8,837168 \cdot 10^{28} \text{ (атомов)}.$$

Подсчитаем разницу количества атомов $\Delta n_{\text{атомов Fe}}$ в м^3 в зависимости от типа кристаллической решетки:

$$\Delta n_{\text{атомов}} = n_{\text{атомов ГЦК}} - n_{\text{атомов ОЦК}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta n_{\text{атомов}} &= 8,837168 \cdot 10^{28} - 8,117442 \cdot 10^{28} = \\ &= 0,719726 \cdot 10^{28} \text{ (атомов)}, \end{aligned}$$

что в процентах составит 8,14%.

Получается, что в гранцентрированной кубической решетке на 8,14% атомов больше чем в объемно центрированной кубической решетке.

Определим энергию связи атомов железа через теплоту сублимации для железа, которая составляет, согласно [15] 416 кДж/г·атом.

Энергия связи атомов определяется количеством энергии, которую необходимо затратить для разрыва их связи [16].

В одном моле Fe находится один моль атомов, равный числу Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Следовательно на один атом Fe затрачивается энергия $E_{\text{атома}}$:

$$E_{\text{атома}} = \frac{416 \cdot 10^3}{6,022 \cdot 10^{23}} = 69,08 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}.$$

Определяем энергию связи атомов в каждой из решеток:

$$E_{\text{связи}} = E_{\text{атома}} \cdot n_{\text{атомов}}, \quad (7)$$

для ОЦК решетки:

$$E_{\text{связи}} = 69,08 \cdot 10^{-20} \cdot 8,117442 \cdot 10^{28} = 560,7528 \cdot 10^8 \text{ Дж},$$

для ГЦК решетки:

$$E_{\text{связи}} = 69,08 \cdot 10^{-20} \cdot 8,837168 \cdot 10^{28} = 610,4715 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

Таким образом, разница энергии связи атомов в ОЦК и ГЦК решетке ($\Delta E_{\text{связи}}$) составляет:

$$\Delta E_{\text{связи}} = E_{\text{связиГЦК}} - E_{\text{связиОЦК}}, \quad (8)$$

$$\Delta E_{\text{связи}} = 49,7187 \cdot 10^8 \text{ Дж}$$

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. В результате нанесения баббита образуются отдельные участки антифрикционного слоя, прочно сцепленные с материалом основы. Сплошность полученного покрытия составляет 40-50% покрываемой площади (рис. 2, а). При последующей обработке баббитового покрытия серебром происходит выравнивание поверхности и формирование равномерного слоя (рис. 2, б).

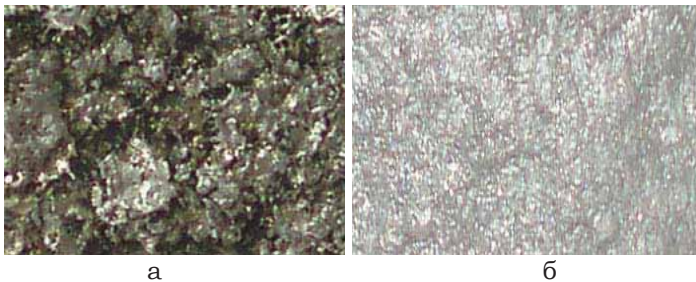


Рис. 2. Поверхность образца после ЭЭЛ баббитом (а) и выравнивания серебром (б)

При выявлении в покрытии пропусков необходимо на обнаруженных дефектных участках повторить обработку нанесения баббита и выравнивания серебром. Данный способ нанесения баббита на ВП позволяет формировать на стальных подложках антифрикционные слои толщиной до 0,3 мм.

Выводы:

1. Наличие в ГЦК решетке большей энергии связи атомов чем в ОЦК решетке позволяет ожидать в ней и большей поверхностной энергии. Это подтверждается наличием диффузионной зоны при ЭЭЛ стали 20, например, оловом и медью. При нанесении олова лужением диффузионная зона не наблюдается.

2. При формировании баббитового слоя подшипника скольжения предпочтение следует отдавать методу ЭЭЛ, обеспечивающему по сравнению с другими

методами более прочную связь наносимого слоя с подложкой.

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

Список литературы:

1. Тарельник В.Б. Повышение качества подшипников скольжения / В.Б.Тарельник, В.С. Марцинковский, Б. Антошевский. - Сумы : МақДен, 2006. - 160 с.
2. Лузан С.О. Предлагаемые общие принципы управления качеством газопламенных покрытий при восстановительном ремонте деталей / Лузан С.О. - Механiка та машинобудування. - 2011, № 2. - С.211-219.
3. Е.Д. Плешка. Сцепление железных покрытий со сталью и чугуном / Е.Д. Плешка. Электронная обработка материалов. - 2008, № 2. - С. 17-24.
4. Галиахметов И.Г. Конструкционные материалы центробежных и винтовых компрессоров. Выбор и технология их применения / Галиахметов И.Г. - Казань: Изд-во «ФЭН», 2009. - 155 с.
5. Сегаль А.В. Технология производства центробежных и винтовых компрессоров и холодильных машин. - Казань: Изд-во «ФЭН», 2009. - 212 с.
6. Лебедева А.П. Восстановление деталей машин / А.П. Лебедева, Т.Н. Погорелова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
7. Н.П. Барыкин, Р.Ф. Фазлыахметов. Изготовление подшипников скольжения с применением штамповки антифрикционного слоя в условиях кристаллизации и последующей пластической деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2006. №9. С. 27-29.
8. Тарельник В.Б. Аналіз технологій нанесення антифрикційних покриттів підшипників ковзання / В.Б.Тарельник, О.В.Дзюба. - Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - Випуск 134.-2013.- С. 244-251.
9. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А.Е. Гитлевич, В.В.Михайлов, Н.Я. Парканский, В.М. Ревутский. - Кишинев: ШТИНЦИА, 1985. - 196 с.
10. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
11. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник / Гаркунов Д.Г. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: «Издательство МСХА», 2001. - 616 с.
12. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха. - К.: Техника, 1982. - 181 с.
13. Лахтин Ю.М. Материаловедение: Учебник для машиностроительных вузов - 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - М.: Машиностроение, 1980. - 493 с.
14. Рейтер А.Г. Теоретичні розділи загальної хімії. Навчальний посібник / Рейтер А.Г., Степаненко О.М., Басов В.П. - К.: Каравела, 2003. - 344 с.
15. Лившиц А.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений - 2-е изд. перераб. и доп. / А.С. Лившиц, А.Н. Хакимов. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
16. Хомченко Г.П. Химия для поступающих в вузы: Учеб. Пособие. - М.: Висш. шк., 1985. - 367 с.



ОРЕЛКОМПРЕССОРМАШ

Стационарные и передвижные,
винтовые и поршневые
компрессорные станции и установки

ПРОИЗВОДСТВО, ИНЖИНИРИНГ, СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

РОССИЯ, 302020
г. Орел, ул. Цветаева, 1-б
тел./факс: (4862) 421157,
(4862) 421158
info@orelkompresormash.ru



... ударная волна
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ