

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РОТОРНЫХ МАШИН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИХ
ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ**

**Коноплянченко Е.В., к.т.н., доц., Яременко В.П., к.т.н., доц.,
Тарельник Н.В., к.е.н., доц.**

Сумской национальной аграрный университет

В статье рассматриваются вопросы повышения качества приработки подшипников скольжения за счет формирования методом электроэрозийного легирования, на их трибоповерхностях, покрытий из мягких металлов обеспечивающих более плотное прилегание.

Введение

Роторные машины нашли широкое применение в разных отраслях промышленности, в том числе и с.-х. машиностроении, в качестве элементов энергетического оборудования, насосных и компрессорных станций. По статистическим оценкам, работоспособность такого оборудования, как правило, лимитируется надежностью подшипниковых узлов, т.е. наработкой на отказ подшипников скольжения (ПС), которая в значительной мере зависит от качества их изготовления, проведения монтажных и ремонтных работ, выполнения всех требований конструкторской и технологической документации.

При изготовлении корпусов и вкладышей подшипников (ВП), а также подшипниковых шеек (цапф) роторов компрессоров и насосов всегда имеются отклонения от их идеальной геометрической формы, 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. Кроме того, в местах неудовлетворительного прилегания, поверхности вкладыша и «постели» могут подвергаться целевой и фреттинг коррозии (рис. 1) [1].

Согласно [2] сопротивление усталости антифрикционного слоя зависит от режима работы и конструкции подшипника, физических свойств соединения слоя с основанием, жесткости вала и «постели» под подшипниками и др. Условия приработки ВП и улучшение работы в послеприработочном периоде можно обеспечить за счет их более плотного прилегания к «постелям», путем нанесения на их контактирующую поверхность мягких металлов. В данном случае осуществляется компенсация погрешностей при изготовлении ПС за счет снижения сопротивления деформации в покрытии ВП из мягкого металла.



Рис.1. Поверхность вкладыша подшипника скольжения, поврежденная щелевой и фреттинг коррозией

Существует большое количество различных методов нанесения покрытий из мягких металлов на стальные изделия (гальванический метод, металлизация напылением и др.). Сравнение их достоинств и недостатков позволило, обосновано выделить как наиболее перспективный метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) - процесс перенесения материала на обрабатываемую поверхность искровым электрическим разрядом. Метод имеет ряд специфических особенностей:

- материал анода (легирующий материал) может образовывать на поверхности катода (легируемая поверхность) чрезвычайно прочно сцепленный с поверхностью слой покрытия; в этом случае не только отсутствует граница раздела между нанесенным материалом и металлом основы, но происходит даже диффузия элементов анода в катод;

- легирование можно осуществлять в строго указанных местах, не защищая при этом остальную поверхность детали;

- технология электроэрозионного легирования металлических поверхностей очень проста, а необходимая аппаратура малогабаритна и транспортабельна [3].

Таким образом, **целью** настоящей работы является повышение качества ПС за счет формирования методом ЭЭЛ на поверхностях ВП, контактирующих с поверхностью «постели», покрытий из мягких металлов, обладающих низким сопротивлением деформации и обеспечивающих более плотное прилегание поверхностей.

Методика исследований

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. В данном случае изучалась закономерность формирования структуры поверхностного слоя после ЭЭЛ мягкими антифрикционными материалами и нанесении многослойных покрытий. Для исследования возможности нанесения на бронзовые вкладыши ПС покрытий из мягких антифрикционных материалов в качестве материала катода использовалась бронза ОЦС 5-5-5.

В качестве материала анода использовались чистые металлы (серебро, медь, олово, индий), баббит В83.

Влияние материала легирования, среды, режимов ЭЭЛ на качественные параметры покрытий определялось на модифицированной установке с ручным вибратором модели «ЭИЛ-8А», (рис. 2,а) отличающейся наличием емкости накопительного конденсатора $C = 150$ мкФ и количеством режимов. Подача аргона в зону легирования производилась с помощью специального приспособления (рис. 2,б).

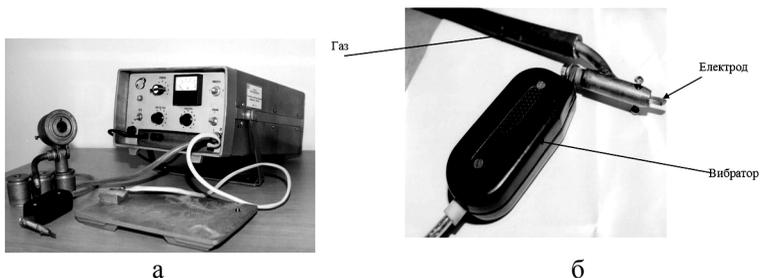


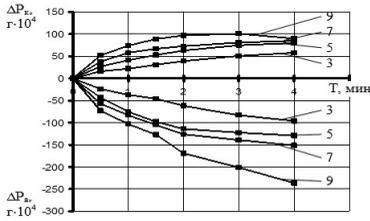
Рис.2. Установка «ЭИЛ–8А», предназначенная для чистового легирования (а) и приспособление для подачи газа в зону легирования (б).

Результаты исследований

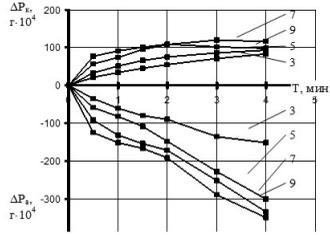
В результате проведенных исследований установлено, что как в воздушной среде, так и в защитной среде аргона с увеличением режима легирования (энергии разряда) увеличивается количество перенесенного материала с анода на катод (рис.3). Наиболее интенсивный массоперенос происходит в начале легирования, затем он замедляется и при более «грубых» режимах может смениться эрозией нанесенного ранее слоя. Особенно это проявляется при легировании в воздушной среде.

Следует отметить, что при легировании в защитной среде, как медью, так и оловянной бронзой массоперенос при равенстве всех прочих условий больше. Это, прежде всего, свидетельствует о том, что окислы металлов в зоне легирования значительно препятствуют формированию поверхностного слоя.

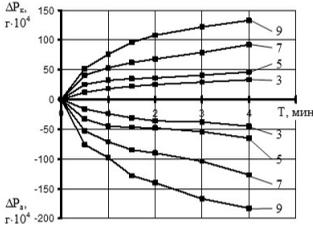
Проведенные исследования свидетельствуют о том, что для каждого режима работы установки ЭЭЛ существует рациональное время легирования, необходимое для получения наиболее качественного покрытия. В данном случае критерием выбора времени легирования являлось получение покрытий 100% сплошности. Следует отметить, что при ЭЭЛ на установках с ручным вибратором качество формируемых покрытий в значительной степени зависит от навыков оператора.



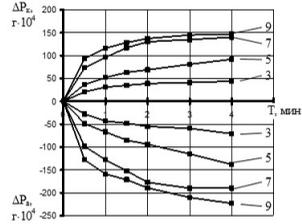
а - C = 150 мкФ



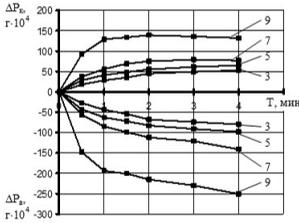
б - C = 300 мкФ



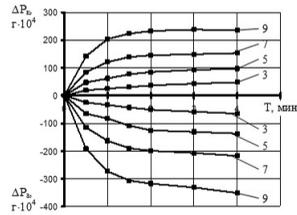
в - C = 150 мкФ 13



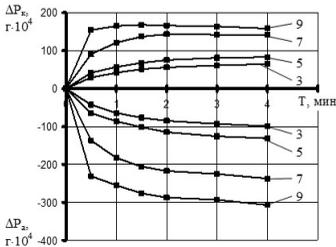
г - C = 300 мкФ



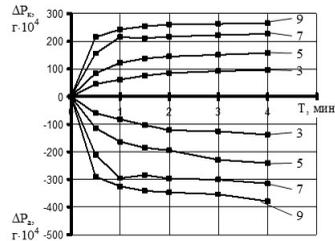
д - C = 150 мкФ



е - C = 300 мкФ



ж - C = 150 мкФ



з - C = 300 мкФ

Рис.3. Привес катода, и эрозия анода при легировании стали 20 медью (а, б, в, г) и оловянной бронзой (д, е, ж, з) в воздушной среде (а, б, д, е) и среде аргона (в, г, ж, з).

Рациональное время легирования медью практически не отличается от легирования оловянной бронзой. Электроды, как из меди, так и оловянной бронзы периодически окисляются, что значительно сказывается на качестве формируемых покрытий. Появляются прижоги, электроды механически разрушаются и отдельные частички размером до 0,2-0,5 мм «привариваются» к легируемой поверхности. Особенно это проявляется при длительном легировании на более «грубых» режимах в воздушной среде. В нейтральной среде аргона окисление практически отсутствует. Однако и в этом случае следует периодически обновлять (например, зачищать наждачной шкуркой и т. п.) поверхность электрода, контактирующую с легируемой поверхностью.

Результаты исследования массопереноса при легировании конструкционных сталей мягкими материалами в достаточной степени приведены в [4].

При легировании стали 20 индием ($T_{пл} = 157^{\circ}\text{C}$) на различных режимах при емкости накопительного конденсатора $C = 20 \text{ мкФ}$ максимум в привесе наступает в течение 2 мин (рис.4).

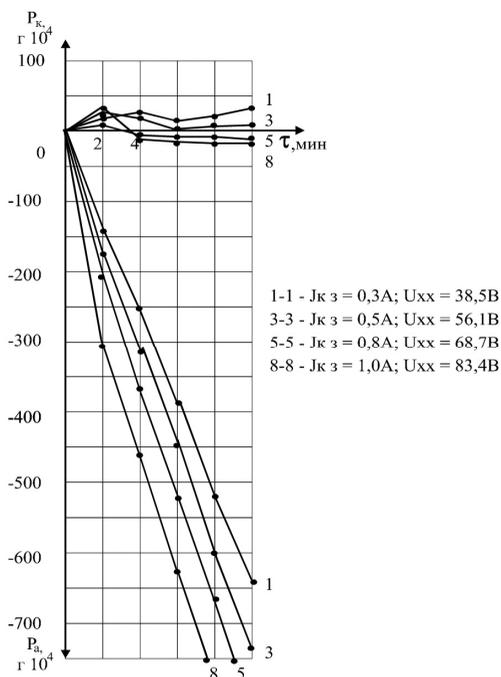


Рис.4. Массоперенос при ЭЭЛ стали 20 индием при емкости накопительного конденсатора $C = 20 \text{ мкФ}$.

Затем, с увеличением времени легирования, происходит интенсивное разрушение сформированного ранее слоя.

Наиболее предпочтительными для работы являются 1-3-й режимы легирования, соответственно с энергией разряда 0,01 – 0,02 Дж. Дальнейшее увеличение режимов, а соответственно и энергии разряда не приводит к желаемому результату. Электрод быстро нагревается и разрушается.

Осуществление процесса ЭЭЛ при ёмкости накопительного конденсатора $C = 300$ мкФ практически невозможно, так как увеличение энергии разряда влечет за собой интенсивное разрушение материала анода.

При использовании в качестве материала анода олова ($T_{пл.} = 231,9^{\circ}\text{C}$) характер массопереноса существенно меняется (рис.5). С применением накопительного конденсатора $C = 20$ мкФ только на 1-м режиме ($W_u = 0,01$ Дж) количество перенесенного металла с анода на катод соизмеримо с количеством перенесенного металла на этом же режиме при ЭЭЛ индием. С ужесточением режима легирования, при той же ёмкости накопительного конденсатора $C = 20$ мкФ (рис. 4, а), привес на катоде резко возрастает за первые 2 мин легирования с 28×10^{-4} г/см² до 170×10^{-4} , 185×10^{-4} и 322×10^{-4} г/см² при увеличении режима ЭЭЛ соответственно с 1-го ($W_u = 0,01$ Дж) на 3-й ($W_u = 0,02$ Дж), 5-й ($W_u = 0,03$ Дж) и 8-й ($W_u = 0,04$ Дж). Коэффициент массопереноса в данном случае составляет для 1-го, 3-го, 5-го и 8-го режимов соответственно 31,6; 38,1; 42,9; 54,0%.

После 2 мин легирования массоперенос на 1-м режиме замедляется и начинается процесс разрушения слоя. На 3-м, 5-м и 8-м режимах интенсивность массопереноса с анода на катод при ЭЭЛ в течение 10 мин практически не изменилась.

При легировании на 1-м режиме, энергии разряда хватает лишь для того, чтобы массоперенос протекал только в паровой и частично в жидкой фазах. С увеличением энергии разряда массоперенос протекает в паровой, жидкой и твердой фазах, что приводит к резкому увеличению привеса на катоде.

Так, при ЭЭЛ на 3-м режиме после 3 мин легирования на поверхности катода стали образовываться отдельные капли, которые с увеличением времени легирования увеличивались в размере. Периодически образованные капли частично или полностью расплавлялись. При легировании на 5-м и 8-м режимах капли на катоде появились соответственно после 2 и 0,5 мин ведения процесса и уже не расплавлялись, а только увеличивались в размере.

На рис.5,б показан массоперенос при циклическом легировании олова с использованием ёмкости накопительного конденсатора $C=300$ мкФ.

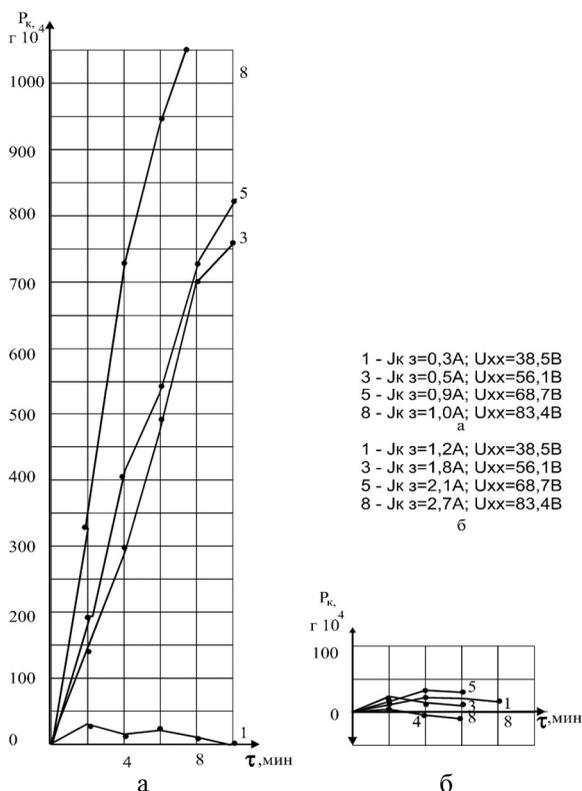


Рис. 5 Массоперенос при ЭЭЛ стали 20 оловом при емкости накопительного конденсатора $C = 20$ мкФ (а) и $C = 300$ мкФ (б)

При легировании стали 20 баббитом В83, сохраняется та же закономерность в массопереносе, что и при легировании оловом. Качественный слой формируется только при энергиях разряда $< 0,08$ Дж. При увеличении разряда $> 0,08$ Дж процесс ЭЭЛ становится трудно управляемым.

При легировании стали 20 серебром, формируется качественный поверхностный слой практически на всех режимах легирования установки «ЭИЛ-8А». Однако массоперенос, а соответственно и толщина покрытия увеличиваются незначительно. При увеличении энергии разряда с 0,01 до 0,1 Дж толщина слоя увеличивается с 0,01 мм до 0,035 мм. При этом шероховатость поверхности изменяется незначительно с 0,8 до 3,6 мкм.

На основании проведенных исследований, получены качественные параметры покрытий из мягких металлов (медь, оловянная бронза, индий олово, баббит В83 и серебро), нанесенных методом ЭЭЛ на сталь 20 (табл. 1).

Таблица 1. Качественные параметры покрытий из мягких металлов (медь, оловянная бронза, индий олово, баббит В83 и серебро), нанесенных методом ЭЭЛ на сталь 20

Режим $W_{\text{и}}, \text{Дж}$	$T_{\text{рац}},$ мин	Шероховатость, Rz, мкм					
		Медь	Бронза	Индий	Олово	Баббит	Серебро
0,01*	4,0	2	3	2,4	2,8	2,8	0,8
0,02*	3,5	3	4	2,8	4,4	4,4	1,2
0,04*	3,0	8	10	3,2	16,2	16,2	2,8
0,05	2,7	-	-	-	-	-	3,2
0,06*	2,5	-	-	-	-	-	3,4
0,08*	2,0	9	11	-	24,4	26,0	3,4
0,10*	2,0	10	12	-	-	-	3,6
0,20*	1,2	12	14	-	-	-	-
0,34*	1,0	15	17	-	-	-	-
0,40*	1,1	16	19	-	-	-	-
0,68*	0,75	27	30	-	-	-	-
Режим $W_{\text{и}}, \text{Дж}$	$T_{\text{рац}},$ мин	Прирост, Δh , мм					
		Медь	Бронза	Индий	Олово	Баббит	Серебро
0,01*	4,0	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01
0,02*	3,5	0,01	0,02	0,02	0,01		0,01
0,04*	3,0	0,02	0,04	0,02	0,03		0,02
0,05	2,7	-	-	-			
0,06*	2,5	-	-	-			0,03
0,08*	2,0	0,03	0,05	-			0,03
0,10*	2,0	0,04	0,06	-			0,035
0,20*	1,2	0,05	0,07	-			-
0,34*	1,0	0,09	0,11	-			-
0,40*	1,1	0,09	0,11	-			-
0,68*	0,75	0,14	0,17	-			-

* - энергия разряда, соответствующая режиму установки «ЭИЛ-8А»

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- применение в качестве легирующих электродов меди и оловянной бронзы позволяют формировать на поверхности стали 20 покрытия со сплошностью до 100%.
- при использовании защитной среды – аргона снижается количество перенесенного материала с анода на катод, шероховатость поверхности и толщина нанесенного покрытия;
- в качестве энергетических режимов можно рекомендовать режимы,

соответствующие энергии разряда $W_u = 0,2 - 0,4$ Дж, обеспечивающие 100%-ную сплошность покрытия, толщину слоя до 0,09 - 0,1 мм и шероховатость – $Rz = 16 - 19$ мкм.

К практическому применению в качестве материала покрытия можно рекомендовать олово или баббит В83, твердость которых соответственно 5 и 27-30 НВ. Наиболее рациональные режимы нанесения покрытия 0,04 – 0,08 Дж, позволяющие формировать покрытия на стали толщиной 0,05 – 0,12 мм. Следует отметить, что с увеличением режима легирования сплошность покрытия снижается и составляет для рекомендуемых режимов, соответственно 90 - 70 %. При замене материала подложки стали 20 на чугун и бронзу механизм формирования покрытия из олова и баббита практически не изменяется.

Список использованных источников

1. В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, Б. Антошевский. Повышение качества подшипников скольжения: Монография.- Сумы: Издательство «МакДен», 2006.- 160 с.
2. Д. Н. Гаркунов. Триботехника.- М.: Машиностроение, 1989.- 327 с.
3. Н.И. Лазаренко. Электроискровое легирование металлических поверхностей.- М.: Машиностроение, 1976.- 46 с.
4. В.Б. Тарельник. Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием: Монография.- Сумы: Издательство «МакДен», 2002.- 324 с.

Анотація

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОТОРНИХ МАШИН УДОСКОНАЛЮВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЇХ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ Коноплянченко Є.В., Яременко В.П., Тарельник Н.В.

У статті розглядаються питання підвищення якості припрацювання підшипників ковзання за рахунок формування методом електроерозійного легування, на їх трибоповерхнях, покриттів з м'яких металів, що забезпечують більше щільне прилягання.

Abstract

MAINTENANCE OF ROTARY MACHINES RELIABILITY BY PERFECTION OF THEIR BEARING ASSEMBLY MANUFACTURING TECHNIQUES

Konoplyanchenko E.V., Yaremenko V.P., Tarelnik N.V.

In article are considered the questions improvement in quality wear-in sliding bearing by formation on them tribosurface, by a method of an electroerosive alloy, soft metals coverings for more dense conformability.