

ГЕРВИКОН
NERVICON



ЭККОН
ЕККОН



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

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

ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДЛЯ КОМПРЕССОРНОГО И НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Марцинковский В.С.¹, Тарельник В.Б.²

АННОТАЦИЯ

Предложены технологии электроэрозионного легирования и обработки, обеспечивающие гарантированное качество поверхностных слоев узлов динамического оборудования.

Ключевые слова: надежность, вкладыши, подшипниковая шейка, электроэрозионная обработка, пластическая деформация,

ВВЕДЕНИЕ

«Износ оборудования - одна из фундаментальных проблем российского химпрома.... Именно поэтому для химических и нефтехимических компаний задачи, связанные с оптимизацией процессов технического обслуживания и управления ими, особенно актуальны» [1].

«Надежность оборудования, т.е. бесперебойная работа узла или агрегата в текущих условиях до следующего ремонта, позволит снизить эксплуатационные затраты нефтегазовой компании. Исследования показывают, что при повышении надежности оборудования на 5%

¹ Марцинковский Василий Сигизмундович, к.т.н., директор ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г.Сумы, Украина.

² Тарельник Вячеслав Борисович, д.т.н., проф., Сумский национальный аграрный университет, кафедра эксплуатации и ремонта машин, ул. Кирова, 160, 40021, г. Сумы, Украина.

увеличивается прибыльность компании более чем на 34%»[2]. На вложенный \$ в повышение надежности оборудования компания получает $\approx 6\$$ прибыли. Простой вопрос куда вложить?

Одним из направлений деятельности фирмы «ТРИЗ» обеспечивающих надежность работы высокоэффективных узлов ТРИЗ® для динамического оборудования – разработка и применение технологий ТРИЗ® обеспечивающих гарантированное качество изготовления поставляемых узлов. Технологии электроэрозионной обработки при изготовлении муфт, лабиринтных уплотнений, импульсных уплотнений и технологий электроэрозионного легирования с использованием поверхностно пластической деформации (ППД) обкаткой шариком (ОШ) или безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) разработанные «ТРИЗ» для пар трения подшипников скольжения, плавающих уплотнений, щелевых уплотнений на сегодняшний день соответствуют требуемому эксплуатационному уровню обеспечивающему 2х-4х летней непрерывный пробег динамического оборудования.

Для изготовления вкладышей подшипников (ВП) используются различные антифрикционные сплавы. Изменение типа и марок сплавов происходит под влиянием ужесточающихся условий работы подшипниковых узлов. Обычно подшипниковые сплавы на основе меди обладают более высокими механическими характеристиками по сравнению с баббитами, а также сплавами на основе цинка и алюминия [3, 4].

При использовании сплавов на основе меди повреждаемость подшипников проявляется в виде повышенного износа, затрудненной прирабатываемости и большей вероятности образования задира [5]. В связи с этим возникает необходимость формирования на бронзовых ВП специальных покрытий, улучшающих условия приработки.

Нами разработан и используется способ обработки бронзовых вкладышей подшипников скольжения (ПС) [6].

Сначала на рабочие поверхности бронзовых вкладышей (микротвердость которых составляет 110–115 кгс/мм²) методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) наносят покрытие из серебра при энергии разряда 0,1-0,3 Дж. Микротвердость сформированного поверхностного слоя при этом снижается и составляет 75-80 кгс/мм².

После этого на покрытие из серебра этим же методом и при такой же энергии разряда (0,1 - 0,3 Дж) наносят покрытие из меди. Микротвердость покрытия после нанесения меди незначительно увеличивается и составляет 85-90 кгс/мм².

Третьим слоем наносят электроэрозионное покрытие из оловянного баббита при энергиях импульса 0,01-0,04 Дж. При этом медь, входящая в состав покрытия, образует с оловом, которое является основным

компонентом оловянных баббитов, твердый раствор замещения, обеспечивая гарантированную металлическую связь.

Нанесение оловянного баббита способствует получению механической смеси по эвтектической реакции на основе серебра, которое состоит из ϵ фазы и Sn с температурой плавления около 220 °С. Микротвердость структуры после нанесения электроэрозионного покрытия из оловянного баббита составляет 35-38 кгс/мм². Свинец, который содержится в бронзе, практически не растворяется в серебре и находится в свободном состоянии.

Таким образом получают комбинированное электроэрозионное покрытие (КЭП) в виде дискретных зон с максимальной толщиной 30 мкм, то есть формируется регулярный микрорельеф поверхности, вершины которого имеют микротвердость – 35-38 кгс/мм².

На рисунке 1 показаны бронзовые вкладыши подшипников скольжения без покрытия (верхний ряд) и с КЭП (нижний ряд).



Рисунок 1 - Бронзовые вкладыши подшипников скольжения

На рисунке 2 показана топография участка поверхности бронзовых образцов с КЭП, на которой выбраны 3 характерные точки (1 – гладкая поверхность, 2 – шероховатая поверхность, 3 – пора).

Спектр поверхности и поэлементный состав, как в характерных точках, так и со всей исследуемой поверхности, показан соответственно в таблице 1

и на рисунке 3. Как видно из таблицы 1 и рисунка 3, во всех характерных точках присутствуют элементы, входящие в состав КЭП.

Распределение элементов по мере углубления поверхностного слоя, с шагом сканирования 5 мкм, представлено в таблице 2.

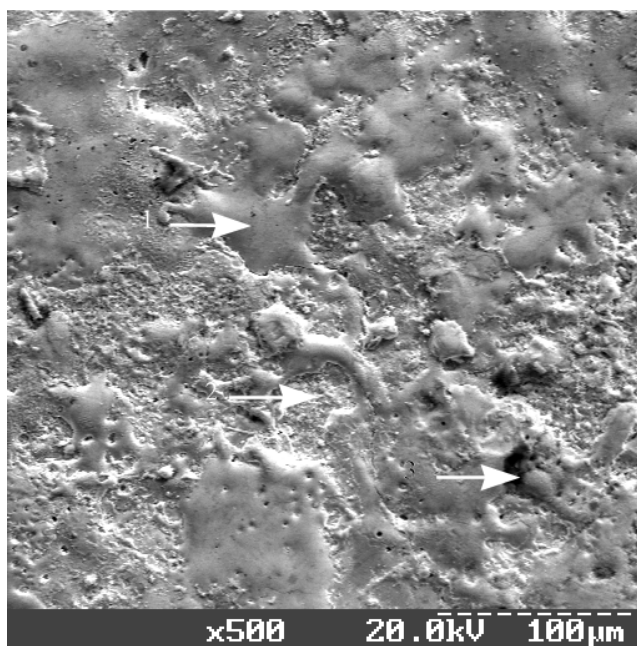


Рисунок 2-Топография участка поверхности бронзовых образцов с КЭП

Таблица 1 - Поэлементный состав покрытия в характерных точках и со всей исследуемой поверхности

Исследуемая точка, участок (Σ) поверхности	Элементы, %				
	Cu	Zn	Ag	Sn	Pb
1	32.857	1.262	23.939	38,673	3.269
2	25.391	1.448	20.984	49.606	2.571
3	27.97	3.441	15.291	50.094	3.201
Σ	26.854	2.920	16.939	50.347	2.940

Таблица 2 -Поэлементный состав покрытия по глубине поверхностного слоя

Исследуемая точка поверхности	Элементы, %				
	Cu	Zn	Ag	Sn	Pb
1	61.832	1.909	6.070	27,247	2.942
2	73.057	3.679	3.070	18,269	1.924
3	55.913	2.288	7.430	28.903	5.466
4	63.844	2.828	0.892	26,344	6,092
5	78.721	5.618	0.000	13,13	2.531
6	84.492	5.244	0.737	7.169	1.303
7	86.832	6.084	0,000	5,355	1.729

Как видно из таблиц 1 и 2 поверхностный слой, сформированный ЭЭЛ, состоит из элементов легирующих электродов и подложки. Толщина приработочного покрытия составляет 30 мкм.

Успешный опыт применения подшипников с антифрикционным приработочным покрытием (рис. 3), получен на корпусе КВД (n=12600 об/мин), воздушного компрессора С102.

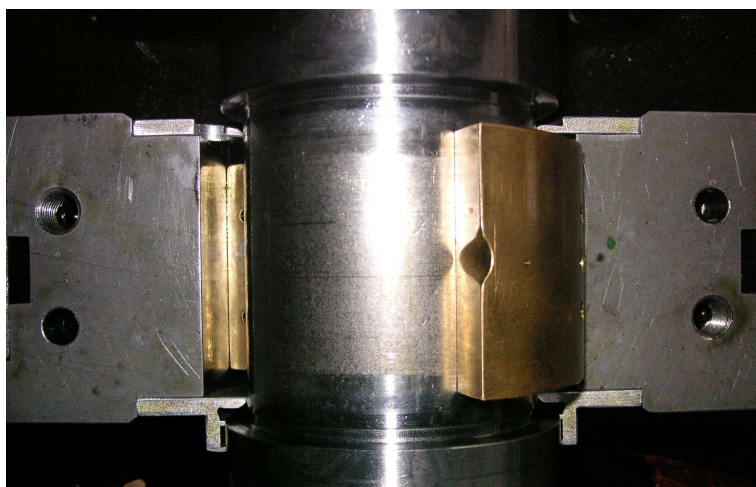


Рисунок 3 - Подшипник с антифрикционным слоем и упрочненной подшипниковой шейкой выполненные электроискровым способом

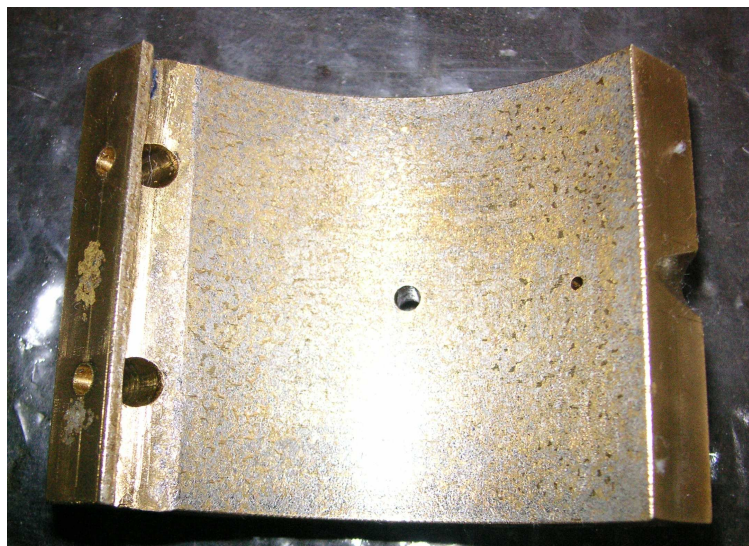


Рисунок 4 - Состояние колодки после двухнедельного пробега

Однако применение ВП, обработанных предлагаемым способом, требует высокой точности соосности подшипниковых узлов из-за малой толщины покрытия. В случае неточности установки превышающей толщины покрытия при приработке может произойти задира рабочей поверхности ВП.

Реальный ресурс работы машины напрямую зависит от несущей способности поверхностей деталей, которая определяется качеством их поверхностного слоя. На работоспособность валов роторов, кроме действующих переменных сил и моментов, значительное влияние оказывают силы трения, возникающие в подшипниках скольжения (ПС). Трение между поверхностями подшипниковых шеек (ПШ) вала и вкладышей подшипников (ВП) вызывает их износ. Величина этого износа зависит от условий трения, определяющихся рядом факторов: физико-механическими свойствами материалов вала и ВП, формой и размерами деталей, шероховатостью поверхностей трения, скоростью, нагрузочным и тепловым режимами работы трущейся пары, способом подвода, количеством и качеством смазки.

1. УПРОЧНЕНИЕ И РЕМОНТ ПШ РОТОРОВ

Для повышения несущей способности валов применяются различные методы их упрочнения: закалка ПШ вала токами высокой частоты, нанесение гальванических покрытий, азотирование, упрочнение методами

поверхностного пластического деформирования (ППД), электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) и т. д. Однако наиболее перспективной на наш взгляд является комбинированная технология, составляющими которой являются взаимодополняющие технологии ЭЭЛ и ППД.

Для установления основных закономерностей между качеством сформированных поверхностных слоев и технологическими параметрами ЭЭЛ и ППД проводились необходимые исследования.

С целью разработки технологии нанесения комбинированных электроэрозионных покрытий (КЭП) были выполнены экспериментальные исследования по ЭЭЛ стальных подложек электродами из твердых износостойких и мягких антифрикционных материалов.

С целью повышения качества поверхностных слоев деталей, исследовалось влияние ППД на ЭЭЛ слои различной твердости и состава.

На основании анализа напряженно-деформированного состояния ЭЭЛ слоя нами предложена методика, позволяющая определять геометрические и деформационные параметры для слоев со сложной структурой, получаемой в результате ЭЭЛ.

Установлено, что в случае ОШ КЭП шероховатость поверхности снижается с $Ra = 0,48...0,52$ мкм до $Ra = 0,1$ мкм. Поверхностные слои, имеющие высокую микротвердость с увеличением удельного усилия ОШ не упрочняются, а вминаются в нижележащие слои, упрочняя при этом последние. Микротвердость в переходном слое для всех покрытий, нанесенных методом ЭЭЛ, возрастает в различной степени. Причем, чем ниже микротвердость переходной зоны, тем больше резервы для ее повышения.

В результате исследования износа образцов, упрочненных ЭЭЛ + ППД и образцов без упрочнения, получены следующие данные (табл. 3.)

Установлено, что нанесение на сталь 45 электроэрозионных покрытий обуславливает наличие в поверхностном слое неблагоприятных растягивающих напряжений. Последующее ППД формирует в поверхностном слое благоприятные сжимающие напряжения, которые полностью нейтрализуют растягивающие, образованные ЭЭЛ.

При испытании натуральных моделей валов с КЭП (Cu + Cr) установлено, что в результате ЭЭЛ усталостная прочность снизилась по сравнению с валами без покрытия в 1,5 раза, но зато она в 1,5 раза выше, чем у валов, легированных только хромом. ОШ образцов увеличивает их усталостную прочность на 16-20 % выше образцов без покрытия. Так как место разрушения образцов перемещалось за пределы покрытия, можно сделать вывод, что увеличение предела выносливости еще больше.

Таблица 3 - Износ упрочненной стали 45 в паре с баббитом Б-83

Упрочнение	Износ	
	весовой $\times 10^3$, кг	линейный, мкм
Без упрочнения	0,079	6,516
Обкатка роликом $\varnothing 76,0$	-	2,0*
ЭЭЛ Cr + АВ (алмазное выглаживание)	0,017	1,643
ЭЭЛ Гр (ЭГ-4) + ОШ	0,019	1,855
ЭЭЛ Cu + ЭЭЛ ВК8 + ОШ	0,015	1,564

* - данные взяты из [7].

На рисунке 5 показано ЭЭЛ и ОШ подшипниковых шеек ротора турбокомпрессора ГТТ – 3. Работа проводилась в Новомосковске на ЗАО «МХК «ЕвроХим» представителями ООО «ТРИЗ». Обмер шеек ротора после ОШ показал, что их размер увеличился на 0,02 мм. Метод ЭЭЛ графитовым электродом основан на процессе диффузии (насыщении поверхностного слоя детали углеродом) и имеет определенное сходство с разновидностью химико-термической обработки - цементацией. По сравнению с цементацией, ЭЭЛ графитовым электродом (электроэрозионная цементация, ЭЦ) [8] не только обладает всеми достоинствами сравниваемого метода, но имеет и ряд преимуществ (отсутствие поводок и короблений детали, возможность ведения процесса в локальном месте, значительно меньший расход электроэнергии, простота и др.). Производительность процесса при этом составляет 2-5 см²/мин.

ЭЦ - отдельное технологическое направление ЭЭЛ, позволяющее формировать на деталях машин поверхностные слои повышенной износостойкости и твердости без изменения исходного размера детали.

ЭЦ имеет ряд специфических особенностей:

- незначительное изменение шероховатости поверхности;
- достижение 100% сплошности упрочнения поверхностного слоя;
- повышение твердости поверхностного слоя детали за счет диффузионно-закалочных процессов;
- простота применения технологии;
- гибкая привязка к имеющемуся оборудованию;
- процесс упрочнения не требует специальной подготовки и высокой квалификации рабочего.

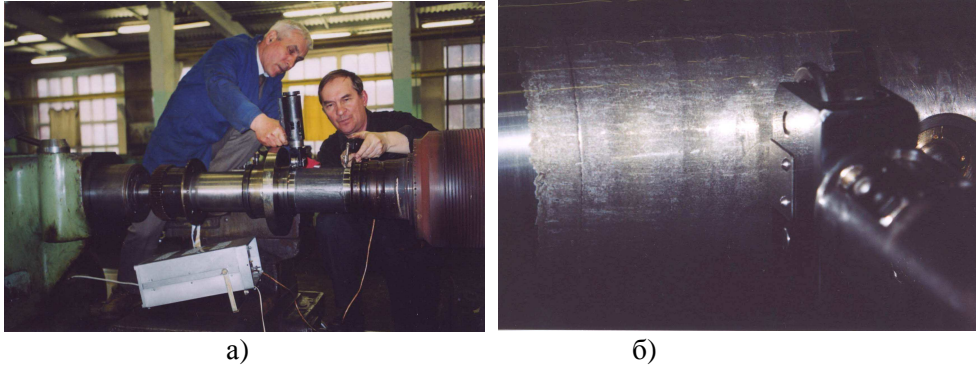


Рисунок 5 - ЭЭЛ (а) и ОШ (б) подшипниковой шейки ротора турбокомпрессора ГТТ-3

Специалистами кафедры технического сервиса (СНАУ) по заданию фирмы «ТРИЗ» проведены исследования влияния технологических параметров оборудования (энергия разряда, длительность легирования) на качественные параметры (структуру, шероховатость, сплошность, микротвердость, глубину слоя, остаточные напряжения, фазовый состав) поверхностных слоев деталей из различных материалов при ЭЦ. На основании проведенных исследований разработана гамма технологических процессов упрочнения деталей для динамических машин. В качестве финишной операции после ЭЦ используются: шлифование, притирка, поверхностная пластическая деформация (алмазное выглаживание, обкатка шариком или роликом) или методом безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО).

Торцевая уплотняющая поверхность плавающего уплотнения.

Ниже приведены некоторые примеры интегрированных технологий применения метода ЭЦ с последующей финишной обработкой различными методами.

В плавающем уплотнении торцевые контактирующие поверхности должны обладать высокой твердостью и износостойкостью, а также низкой шероховатостью.

Процесс упрочнения торцевых поверхностей колец плавающих уплотнений (рис. 6) производится вручную на установке «Элитрон 22А» методом ЭЦ при энергии разряда 0,5 Дж. Глубина упрочненного слоя составила 30-50 мкм, микротвердость 900 -1100 НV. После чего, с целью снижения шероховатости и коэффициента трения, производится легирование серебром при энергии разряда 0,05 Дж. Финишная обработка - притирка.



Рисунок 6 - Плавающее уплотнение.

2. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ВАЛ» НА ПРИМЕРЕ ПОДШИПНИКОВЫХ ШЕЕК ВАЛОВ

При изготовлении роторов турбин возникают проблемы с упрочнением несущих поверхностей подшипников. На рисунке 7 представлено состояние не упрочненных подшипниковых поверхностей после 2х летнего пробега. После проведение ремонта роторов со шлифовкой опорных подшипниковых шеек снимается упрочненный слой.

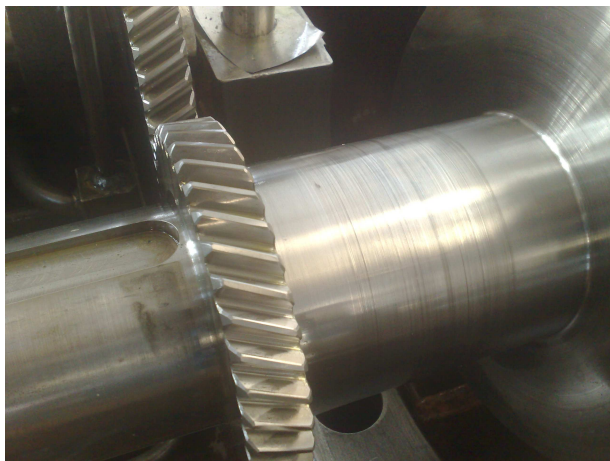


Рисунок 7 - Состояние подшипниковых несущих поверхностей ротора без упрочнения

Стандартная технология упрочнения поверхностей валов может быть реализована различными методами: ТВЧ, азотированием, цементацией. ООО «ТРИЗ» в этих случаях рекомендует комбинированные технологии КЭП+ОШ, (рис. 5), или ЭЦ+БУФО (рис. 8).

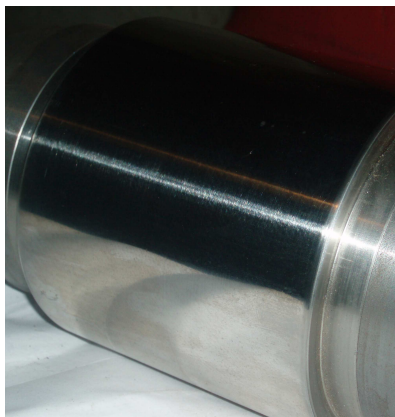


Рисунок 8 - Подшипниковая шейка вала после упрочнения ЭЦ+БУФО

Предлагаемая комбинированная технология (Рис.8), заключающаяся в ЭЦ с последующей обработкой БУФО, позволяет получить качественные параметры упрочняемых поверхностей на уровне параметров, достигаемых вышеуказанными методами, но при меньших (в 5-10 раз) затратах.

3. НАСОСНЫЕ ВТУЛКИ

Данные изделия (рис. 9) применяются в насосной технике как пары трения, в виде статорной и роторной деталей. В роторной втулке упрочняют наружную поверхность, а в статорной – внутреннюю.



Рисунок 9 - Статорная втулка насоса, упрочненная методом ЭЦ

По штатному технологическому процессу упрочнение контактирующих поверхностей осуществлялось методом гальванического хромирования, что в процессе работы нередко приводило к сколам и разрушению покрытий.

Замена гальванического хромирования на ЭЦ позволило не только улучшить качество упрочненных поверхностей, но и продлить общий ресурс втулок.

Технологический процесс упрочнения представляет собой комбинированную технологию, включающую в себя ЭЦ, обкатку шариком и последующее шлифование.

Следует отметить, что весь технологический процесс упрочнения выполняется на одном и том же оборудовании одним и тем же специалистом.

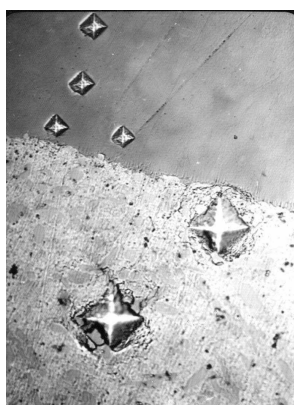
Совершенствование технологии изготовления баббитовых вкладышей подшипников (ВП)

На основании анализа технологии изготовления ВП, изучения условий их работы и причин разрушения антифрикционного баббитового слоя, ООО

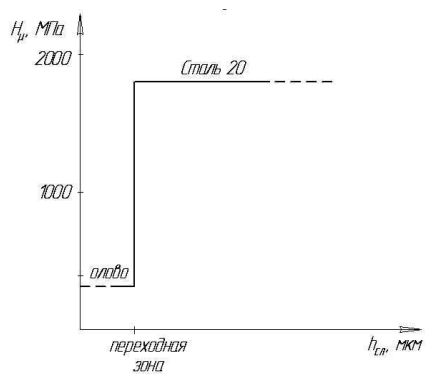
«ТРИЗ», на стальную подложку, перед лужением оловом, наносит ЭЭЛ промежуточный слой из меди. Это обеспечивает более прочное сцепление стальной подложки с баббитом, а также интенсифицирует отвод тепла из зоны трения [9].

Существует большое количество различных методов нанесения покрытий из мягких металлов на стальные изделия (гальванический способ, металлизация напылением, ЭЭЛ и др.).

На рисунке 10 показаны микроструктура (а) и распределение микротвердости в граничной зоне (б) между сталью 20 и оловом, нанесенным по традиционной технологии - лужением.



а) x 400



б)

Рисунок 10 - Микроструктура (а) и распределение микротвердости (б) в поверхностном слое стали 20 с лужением оловом

Как видно из рисунка, переходной слой между оловом и подложкой отсутствует. Микротвердость резко изменяется по величине от 310-340 до 1750-1800 МПа.

На рисунке 11 представлена колодка с переходным бронзовым слоем с рифленой поверхностью под баббит.

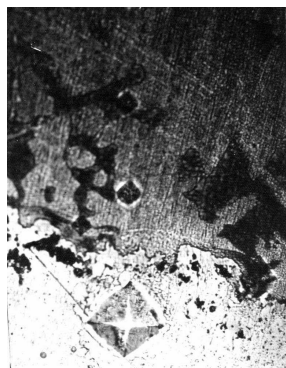
Сравнение достоинств и недостатков существующих технологий позволило обоснованно выделить как наиболее перспективный метод ЭЭЛ, обеспечивающий прочное сцепление нанесенного металла с подложкой, что является определяющим в выборе данной технологии.

В случае ЭЭЛ стали 20 медью, между оловом и медью образуются твердые растворы замещения, обеспечивающие более прочную связь. В свою очередь, прочная связь между стальной подложкой и медью обеспечивается ЭЭЛ, что подтверждается наличием в сформированных слоях диффузионной зоны (рис. 12, а). Микротвердость в переходной зоне первоначально плавно повышается от 210-230 до 2700-2800 МПа, а затем плавно снижается до микротвердости металла основы (рис. 12, б).

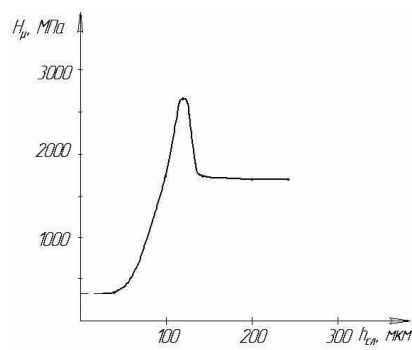
Анализ результатов испытания образцов показал, что применение переходных слоев из меди, наносимых методом ЭЭЛ в защитной среде (аргон) (рис. 13), повышает прочность соединения стальной подложки с антифрикционным баббитовым слоем по сравнению с традиционной технологией (сталь 20 + баббит) на 35%.



Рисунок 11 - Колодка с переходным бронзовым слоем и рифленой поверхностью



а) x 400



б)

Рисунок 12 - Микроструктура (а) и распределение микротвердости (б) в переходном слое при ЭЭЛ стали 20 медью с последующим лужением оловом

Предложенный способ [10], обеспечивающий наиболее прочное сцепление баббитового слоя со стальной подложкой, актуален для упорных и опорных подшипников скольжения, плавающих уплотнений, опорных пальцев зубчатых колес планетарных мультипликаторов и др.

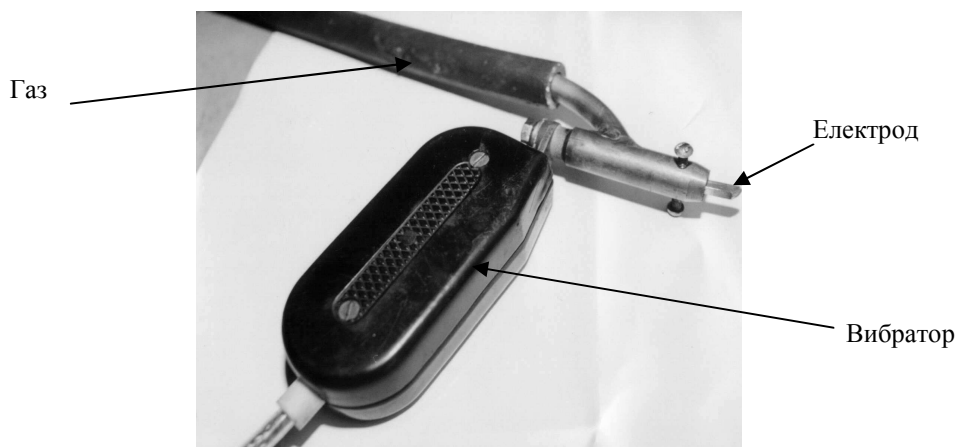


Рисунок 13 - ЭЭЛ медью Ст20 перед лужением и заливкой баббитом

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИРАБАТЫВАЕМОСТИ ВП

При изготовлении вкладышей ПС и ПШ 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 шейки вала и вкладыша подшипника, что является причиной перенапряжения антифрикционного слоя, особенно в период приработки. Приработка является как бы заключительной технологической доводочной операцией, в результате которой нивелируются все неточности изготовления контактирующих поверхностей деталей в паре трения.

Согласно [11] под прирабатываемостью понимают способность трущихся тел в начальный период трения постепенно улучшать контактирование поверхностей за счет их сглаживания, что при постоянных внешних условиях сопровождается снижением коэффициента трения, интенсивности изнашивания и уменьшением выделения тепла. Прирабатываемость является важной служебной характеристикой материала, так как от нее зависит продолжительность вхождения узла трения в режим нормальной эксплуатации.

Ускорение изнашивания и развития повреждений, трущихся поверхностей в послеприработочном периоде, зависит от наличия на поверхности трения непоправимых микро, а иногда и макроповреждений, образовавшихся в процессе приработки. К числу таких повреждений относятся локальные разрушения структурных составляющих в результате перегрузок. В металле в этом случае развиваются повреждения вследствие малоциклового усталости, причем поражаются наиболее слабые структурные составляющие. Так при использовании в тонкослойных подшипниках баббита Б83 в кубических кристаллах SnSb образуются микротрещины, которые впоследствии становятся очагами развития трещин уже в объеме всего слоя [12].

С целью изучения возможности улучшения прирабатываемости ВП на образцы стали 20 с баббитовым слоем методом ЭЭЛ наносили покрытия из индия и олова. ЭЭЛ осуществлялось в защитной среде аргона. При этом использовались режимы легирования с энергией импульса до 0,03 Дж.

На рисунке 14 приведена микроструктура поверхностного слоя баббита Б83 без покрытия (а) и с покрытиями из индия (б) и олова (в).

В результате легирования индием на поверхности баббита формируется слой толщиной до 130 мкм и микротвердостью $H_{\mu} = 200-210$ МПа (рис. 13,б). При этом микротвердость нижележащих слоев баббита составляет $H_{\mu} = 240-310$ МПа, а твердых включений квадратной формы (SnSb) – 460-645 МПа.

В случае легирования поверхности баббита оловом глубина прирабочного покрытия составляет 90-100 мкм, а микротвердость $H_{ц} = 180-190$ МПа. Микротвердость нижележащих слоев – 240-310 МПа.

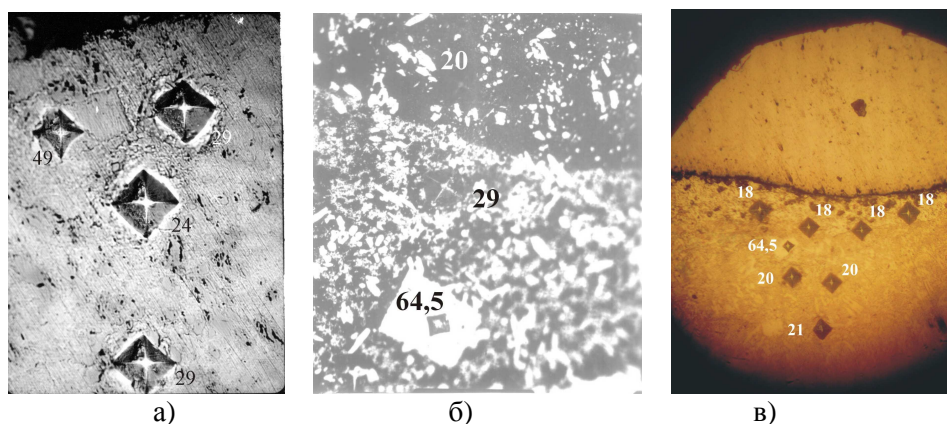


Рисунок 14 - Структура поверхностного слоя баббита Б83:
а – без покрытия, легированного индием (б) и оловом (в)

В [13] предложен новый способ формирования методом ЭЭЛ на поверхностях трения ВП специального рельефа, повышающего надежность работы за счет увеличения несущей способности КЭП. Способ осуществляется следующим образом.

На рабочую поверхность ВП скольжения методом ЭЭЛ наносят с помощью электрода-инструмента слои электроэрозионного покрытия из серебра, меди и оловянного баббита (рис.15).

Согласно предлагаемому способу слои электроэрозионных покрытий ВП наносят в разных направлениях – вдоль, поперек и наименьшим углом к поверхности вкладыша. Кроме того на боковых и входных краях формируются полосы дополнительного микрорельефа (рис. 15). Следует отметить, что формирование регулярного специального микрорельефа обеспечивается самим процессом ЭЭЛ.

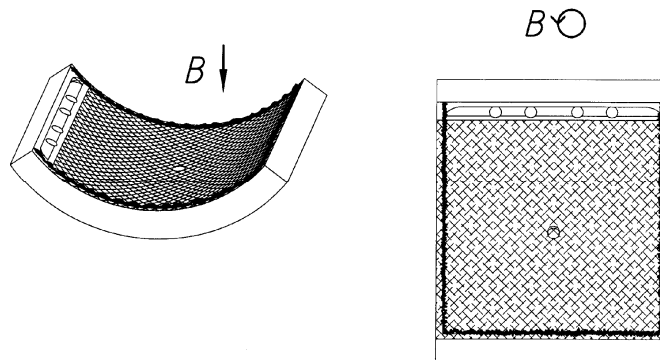


Рисунок 15 - Вкладыш подшипника со специальным микрорельефом и дополнительными полосами микрорельефа поверхности

5. КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Надежность ПС, при прочих равных условиях, в значительной мере зависит от качества его изготовления, а также обеспечения качественного проведения монтажных и ремонтных работ в соответствии с требованиями конструкторской документации.

При изготовлении корпусов и вкладышей подшипников скольжения всегда имеются отклонения от идеальной геометрической формы. Дополнительные неточности привносятся при установке ротора. Накопление погрешностей снижает реальную площадь прилегания вкладыша к постели корпуса подшипника, тем самым снижает эффективность демпфирования и несущую способность подшипника скольжения. Долговечность сопряженного узла повышается за счет увеличения податливости контактирующих поверхностей формированием методом ЭЭЛ на поверхностях ВП, контактирующих с постелью и постели, или на одной из них покрытий из мягких металлов, обладающих низким сопротивлением деформации и обеспечивающих плотное прилегание. В качестве анода для стали 20 используются олово и баббит, позволяющие формировать покрытия до 0,12мм с шероховатостью $Rz=24,4$ мкм [14].

Для формирования шпоночных пазов полумуфт с обеспечением точности и симметричности их расположения, изготовления разрезных лабиринтных уплотнений для компрессоров и турбин ООО «ТРИЗ» приобрел электроэрозионные прошивной и проволочный станки (рис. 16).



Рисунок 16 - Электроэрозионные прошивной и проволочный станки с ЧПУ

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Применение ЕАМ – решение главной проблемы химических предприятий России. Хим-курьер 14.09.2009г. стр.16-17.
2. ЕАМ – решение как инструмент для гибкого управления затратами на техническое обслуживание в нефтегазовой отрасли. С. Гореленков. Сфера нефтегаз стр.166.
3. И.В. Крагельский, Н.М. Михин. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
4. Н.А. Буше. Исследование антифрикционных сплавов подшипников подвижного состава. – М.: Транспорт, 1967. – 224 с.
5. Трение, износ и смазка /А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др./М.: Машиностроение, 2003.- 575 с.
6. В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, Б. Антошевский. Повышение качества подшипников скольжения: Монография.- Сумы: Издательство «МақДен», 2006.-160 с.
7. НИ и ИТР по повышению износостойкости шеек коленчатых валов оппозитных компрессоров баз М 16, М 25, М 40 методами ППД: Отчет о НИР / ВНИИкомпрессормаш.- Арх. № 4654/90.- Сумы., 1990.-85 с.
8. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием. Пат. 2337796. Российская федерация. МПК В 23Н 9/00 / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Білоус А.В.; Заявл. 05.10.2006; Оpubл. 10.04. 2008, Бюл. № 31.- 3с.
9. В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский. Проблемы изготовления и эксплуатации подшипников скольжения // Вісник Сумського державного університету. - 2004.- № 2 (61)'.- С. 151-156.
10. Патент України № 64663А МКВ В23Н1/00. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання/ В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник/ Оpubл. 16.02.2004, Бюл. № 2.

11. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун .- Киев: Наук. думка, 1990.-264 с.
12. Трение, износ и смазка /А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др./М.: Машиностроение, 2003.- 575 с.
13. Патент України № 77906, В23Н1/00, 3/00, 5/00. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання/ Марцинковский В.С. /Опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
14. В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, М.Я. Довжик. Компенсация погрешностей при изготовлении подшипников скольжения. Сб. тезисов по материалам 15-й междунар. научно-метод. конф. “Технологии XXI века”, Алушта, 2009.- С.3-4

TECHNOLOGIES OF ELECTROEROSION ALLOYING AND PROCESSING FOR COMPRESSOR AND PUMP EQUIPMENT

**Vasily Martsinrovsky,
TRIZ Ltd**

**Vyacheslav Tarelnik,
SNAU**

SUMMARY

Technologies of electroerosion alloying and processing providing guaranteed quality of surface layers for units of dynamic equipment are proposed.

Keywords: reliability, bearing shells, journal, electroerosion processing, plastic deformation.