

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ  
С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ  
НА ОПОРНЫХ ШЕЙКАХ РОТОРОВ ПОГРУЖНЫХ  
ВОДОЗАПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

**А.П. Корженевский, д-р техн. наук, профессор;  
Т.А. Козорез, В.С. Ивашко, д-р техн. наук, профессор;**

**А.С. Козорез**

*УО «БНТУ», УО «БГАТУ», ОАО «Завод Промбурвод»  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**Technological peculiarities of obtaining of wear-resistant  
composite electrochemical coatings with ultradispersible  
diamonds on basic necks of rotors of submersible waterfilled  
electrical motor**

The technology of coatication of coating on basic necks of rotors of submersible electrical motors, which allows to get the high wear resistance, corrosion resistance, low friction coefficient, good adhesion to a base when there is no any pores and cracks, is developed and implemented. It is shown, that the composite electrochemical coatings on the basis of chromium and ultradispersible diamonds are very effective, economic and practically feasible method of hardening of working surfaces in friction units.

Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости деталей узлов трения машин и механизмов в современном машиностроении разработаны различные методы: применение специальных металлов, нанесение тонкослойных покрытий на основе металлов, полимеров и металлополимеров, использование термической и химико-термической обработки поверхностных слоев, изготовление подшипников скольжения из полимерных и металлополимерных материалов. К наиболее распространенным методам повышения износостойкости относится метод нанесения электролитических покрытий на основе износостойких и коррозионностойких металлов – хрома, никеля и др. Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости хромовых покрытий разработан состав ванны для размерного хромирования, содержащий добавку

ультрадисперсных алмазов (УДА). При введении УДА в ва хромирования интенсифицируется процесс осаждения покрыт увеличивается его прочность, твердость, адгезия к металличес основе, износостойкость. Композиционное покрытие имеет бс высокую твердость по сравнению с базовым хромовым в 1,3 р Износостойкость такого покрытия в 3 – 8 раз выше хромового идентичных условиях испытаний.

В погружных электронасосных агрегатах используются уп ный и радиальные подшипники скольжения. Упорный подшипн состоит из металлической пяты и резинометаллического подпят ка. Пята изготавливается из нержавеющей стали марки 95X18. Т нология изготовления состоит из токарной обработки, термооб ботки детали, шлифовки и полировки поверхности трения. П должна удовлетворять требованиям коррозионной стойкости, носостойкости, антифрикционной стойкости. Твердость пяты ответствует 53 – 58 HRC.

Радиальные подшипники состоят из нержавеющей втул марки 20X13 и резинометаллического подшипника. На рот электродвигателя устанавливаются четыре втулки. Они изгот ливаются из круга наружным диаметром 35 мм, внутренним д метром 20 мм и длиной 40 мм. Затем производится термообра бка, запрессовка втулок на ротор, шлифовка и полировка. Техни ские требования те же, что и для упорного подшипника [1].

Частицы нового класса синтетических алмазов формируются детонационной волне из свободного углерода мощных взрыв тых веществ с отрицательным кислородным балансом. В нерав весных условиях детонационного синтеза в течение долей микро кунды происходит гомогенная конденсация углеродной фазы вы кого давления с образованием алмазных кластеров  $C_n$ , где  $n = 10^4$  – атомов углерода. Средний размер таких частиц 4 – 6 нм, удельн поверхность порошков конденсата 300 – 400 м<sup>2</sup>/г. Частицы УДА сле их отделения от примесей характеризуются химической стабил ностью, в то время как поверхность таких частиц способна к вза модействию с разнообразными материалами и веществами. Отл чительной особенностью УДА является то, что количество ат мов углерода, формирующих кристаллический остов частицы, те же порядка, что и число поверхностных атомов хрома, котор обеспечивают активную периферию кластера. Благодаря этому в стоятельству УДА обладают уникальным сочетанием свойств

**кристалла алмаза со специфической структурой и активностью кластерных материалов.**

Исследования и испытания показали, что композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе хрома и ультрадисперсных алмазов являются высокоэффективным, экономичным и технологичным способом упрочнения рабочих поверхностей, повышают срок службы деталей. Частицы УДА, соосеждаясь с хромом, формируют мелкокристаллическую, плотную, беспористую и бесщелеватую структуру гальванического покрытия, усиливают адгезию КЭП к основе и снижают коэффициент трения покрытой поверхности. Физико-механические свойства покрытия (твердость, износостойкость, пластичность) улучшаются дополнительно при использовании нестационарных режимов электролиза: импульсного и реверсивного токов, а также их комбинаций с постоянным током. Защитные функции, а также ряд специфических эксплуатационных характеристик КЭП могут быть значительно улучшены с помощью технологий комбинированных многослойных покрытий, причем наличие УДА в каждом таком слое дает, как правило, дополнительный усиливающий эффект.

Существенное влияние на свойства и состав КЭП оказывают условия электролиза – плотность тока, температура, перемешивание, концентрация частиц и др.

Известно, что при более высоких плотностях тока возможно цементирование гальваническим покрытием твердых частиц шлама в больших количествах, чем при малой плотности тока. В последнем случае налиплие к поверхности частицы могут перемещаться вместе с растущим осадком, не зарастая. Большим поглощением шлама при высоких плотностях тока объясняют иногда и повышенную шероховатость осадков. Аналогичная закономерность наблюдается и при осаждении КЭП. Однако однозначного влияния их на составы покрытия не существует.

КЭП, образованные за счет включения оксидов, карбидов, нитридов, боридов, обладают повышенной твердостью и износостойкостью [2]. С повышением твердости и блеска ухудшается химическая стойкость и понижается электропроводность КЭП. Чистые же гальванические сплавы, хотя и обладают повышенной твердостью в сравнении с монопокрытиями, имеют низкую тепло- и электропроводность; кроме того, их получение связано с трудностями технологического процесса.

Важным преимуществом КЭП в сравнении с твердыми гальванопокрытиями является сохранение у них повышенных значений твердости во времени, в то время как обычные покрытия с начально высокой твердостью теряют ее уже в первые дни и часы после получения.

Износостойкость КЭП в несколько, а иногда и в десятки раз выше, чем чистых покрытий. Известно, что повышение твердости гальванических покрытий на 10 – 20% часто приводит к многократному повышению их износостойкости. Так, включение карборунда в серебряные покрытия, а карбидов титана, вольфрама и хрома в никелевые уменьшает износ в десятки раз. Для разных случаев истирания существует оптимальная величина твердости при которой наблюдается минимальный износ.

В узлах трения, как правило, одновременно действует несколько механизмов изнашивания: адгезионный, абразивный, окислительный, коррозионно-механический и др. Наиболее опасный вид изнашивания – абразивный – часто возникает под действием инородных частиц и механических примесей, попадающих в подшипники скольжения электронасосных агрегатов из перекачиваемой воды. Для повышения абразивной износостойкости рекомендуется повышать твердость и пластичность. Адгезионная износостойкость материалов повышается при увеличении твердости покрытия. Для снижения усталостного изнашивания покрытия требуется повышать его прочность и вязкость, а также сопротивление образованию поверхностных трещин.

КЭП хрома с УДА в значительной мере удовлетворяет комплексу требований, предъявляемых к износостойким покрытиям, хорошо зарекомендовали себя в различных испытаниях. Вместе с тем имеющиеся результаты далеко не однозначны. Такие триботехнические характеристики, как коэффициент трения и объемный износ, для разных условий испытаний имеют разное значение. Поэтому, чтобы условия испытаний были адекватны, насколько это возможно, условиям эксплуатации, для которых разрабатывается то или иное износостойкое покрытие.

Результаты проведенных испытаний высокотвердых КЭП хром с УДА на износостойкость, полученных в различных режимах нестационарного электролиза, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проведенных испытаний

Режим электролиза			Дорожка трения		Объемный износ за 1 цикл, $10^6 \text{ мм}^3$	Коэффициент трения
f, ц	q	$I_c, \text{ A/дм}^2$	ширина, d, мкм	глубина, h, мкм		
1	1,2	50	229	2,19	3,6	0,172
1	1,25	100	175	1,28	1,6	0,193
1	1,25	50	165	1,13	1,3	0,153
1	1,25	200	160	1,07	1,25	0,142
0,83	1,2	200	180	1,35	1,78	0,146
1	2	200	208	1,80	2,7	0,189
1	5	200	179	1,34	1,7	0,177
1	1,1	200	198	1,63	2,3	0,163
0,16	1,2	200	163	1,11	1,3	0,172
10	1,25	200	183	1,40	1,8	0,141
0,4	1,25	200	163	1,11	1,3	0,139
0,83	1,2	200	193	1,55	2,1	0,131
0,83	1,2	300	220	2,02	3,2	0,141
0,83	1,2	200	188	1,47	2,0	0,137
1	1,25	200	200	1,67	2,4	0,180

Покрyтия наносили на плоско-параллельные пластины размером 5x50 мм, толщина КЭП хром с УДА не менее 5 мкм. Контроле выполнено в виде сферы радиусом 3,15 мм, материал – сталь ШХ 15. Характер движения сферы по плоскости пластины – возвратно-поступательный с длиной трассы 15 – 20 мм, скорость движения 15 – 25 мм/сек. Испытания проводились без смазки, при заданном числе циклов  $n=1500$ . Нагрузка 500 Г.

Результаты показали, что в условиях испытания твердость и износостойкость хорошо коррелируют, заметно возрастая при добавлении в электролит УДА и при переходе от постоянного к импульсному току осаждения КЭП. Коэффициент трения составляет 0,13 – 0,18.

Для исследования коэффициента трения в водной среде были испытаны покрытия по другой методике, а именно: на машине трения 2070.СМТ-1 по схеме «вал – втулка». Покрытие получено в саморегулирующемся электролите с содержанием 15 г/л УДА при

следующих режимах:  $i_k=55 \text{ А/дм}^2$ ;  $t=55^\circ\text{С}$ . Покрытие было нанесено на обе детали трения. В испытаниях изучены три комбинации

- 1 – КЭП – КЭП, покрытие на цилиндре и на втулке;
- 2 – КЭП – сталь, покрытие на цилиндре;
- 3 – сталь – КЭП, покрытие на втулке.

На рисунке 1 представлен коэффициент трения в зависимости от нагрузки.

Коэффициент трения

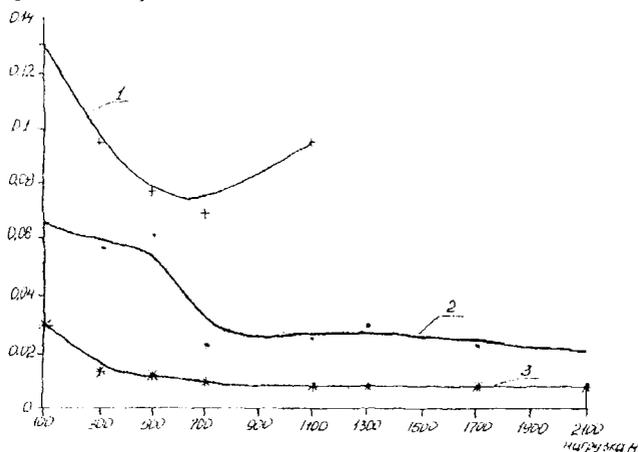


Рис. 1. Коэффициент трения в зависимости от нагрузки

Первая и вторая комбинации КЭП показали себя как достаточно работоспособные в условиях тяжелого нагружения. При этом зафиксировано существенное различие в свойствах КЭП, нанесенных на внешнюю и внутреннюю цилиндрическую поверхность. Здесь сыграло роль преобладающее напряжение покрытия. Покрытие с напряжением растяжения, нанесенное на внешнюю цилиндрическую поверхность, под действием нагрузки приобретает дополнительную пластичность и стойкость к необратимым деформациям и разрушению.

Кроме того, проведены экспериментальные и практические исследования режимов получения КЭП хрома с УДА с указанными свойствами. Электроосаждение проводили из сульфатно-кремнефтористого саморегулирующего электролита с содержанием УДА от 5 до 15 г/л, температура электролита  $45 - 70^\circ\text{С}$ , катодная плотность тока –  $36 - 100 \text{ А/дм}^2$ . Использовали анод, выполненный и

свинцово-серебряного сплава, в центре которого, соосно с ним, размещали покрываемую деталь [3].

Проведенные исследования позволили в качестве исходного материала использовать сталь 45 и на поверхности трения нанести композиционное покрытие хрома с ультрадисперсными алмазами. Вал ротора протачивают, шлифуют, полируют и наносят покрытие «в размер». Технология изготовления ротора по трудоемкости уменьшилась в 1,9 раза, по расходу материала уменьшилась на 1,75 кг.

Высокая износостойкость и коррозионная стойкость покрытия позволяет получить толщину 20 – 30 мкм при обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик. Одновременно значительно повышается сплошность покрытия, его размерная точность.

Разработанная технология хромирования с модифицирующей добавкой УДА применительно к условиям подшипников скольжения позволила изготовить опытно-промышленную партию деталей в количестве 16465 пят и 5400 роторов общей площадью более 12100 дм<sup>2</sup> за 2003 г.

Особенностью хромирования таких изделий является обеспечение высокой твердости покрытия при малой напряженности, высокая износостойкость и низкий коэффициент трения, хорошая адгезия к основе при отсутствии дендритов, пор и трещин на покрытиях. Испытаниями показано, что валы, покрытые износостойким покрытием хрома с УДА по разработанной технологии, обладают в 1,5 – 2 раза большим ресурсом работы, чем по металлам, высокой микротвердостью до 1000 – 1300 кг/мм<sup>2</sup>, содержание УДА в покрытии 0,6 – 0,8%.

Разработанный и внедренный технологический процесс позволит не только получить значительный экономический эффект за счет увеличения производительности, снижения материалоемкости и энергоемкости, но и значительно повысить потребительские свойства готовой продукции – скважинных электронасосных агрегатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Козорез Т.А., Корженевский А.П. Применение процесса композиционного хромирования для поверхностей трения // Изобретатель. 2002. -- №1.

2. Тодт Ф. Коррозия и защита металлов. – М.: Химия, 1966.

3. Кушнер Л.К., Хмыль А.А., Достанко А.П. и др. Влияние периодических токов на процесс осаждения композиционных покрытий хром-ультрадисперсный алмаз // Тезисы 1 Украинского электрохимического съезда. – Киев, 1995.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

**Т.К. Романова, канд. техн. наук; Ж.А. Мрочек, д-р техн. наук  
профессор; В.В. Тризна**  
*УО «БГАТУ», УО «БНТУ»*  
(г. Минск, Республика Беларусь)

#### **Service properties of covers of cutting steels powders**

The service properties of covers are considered, received by the combined method electromagnetic welding with superficial plastic deformation. Is exhibited, that application for welding cutting steels powders increases wear-resistants covers up to 2,5 times, and fatigue strength up to 1,5 times.

Для восстановления и упрочнения деталей машин применяют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать рабочие поверхности с требуемыми эксплуатационными свойствами. Каждый из известных способов нанесения покрытий в силу своих особенностей имеет рациональную область применения и не всегда решает задачи, вызванные необходимостью восстановления и повышения долговечности деталей машин. Поэтому наряду с совершенствованием известных способов нанесения покрытий необходима разработка новых, дополняющих уже известные и расширяющих их технологические возможности. При этом актуальным является совмещение способов восстановления и упрочнения изделий, использующих комбинированное воздействие потоков энергии различного вида на обрабатываемую поверхность. Это позволяет