

**НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ
ГОРНЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

С.Д. Лещик, А.С. Гончаров, К.Ф. Зноско, Ж.В. Царикович

УО «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы»

Введение. Одним из широко используемых технологических способов повышения прочности и износостойкости поверхностей трения при изготовлении или восстановлении металлических деталей высоконагруженных узлов горных и сельскохозяйственных машин является нанесение гальванических покрытий. Хорошо зарекомендовали себя в этом плане покрытия на основе хрома. Все большее распространение получают композиционные электрохимические покрытия (КЭП), состоящие из металлической матрицы и дисперсного упрочняющего наполнителя. При этом свойствами таких функциональных слоев можно управлять путем изменения условий проведения электролиза и состава электролита. Эта технология является простой, широкодоступной и может применяться на деталях широкой номенклатуры. Известно, что не все дисперсные модификаторы способны внедриться в металлическую матрицу и упрочнить ее [1]. В ряде случаев содержание дисперсных частиц в покрытии невелико, а для гальванического хрома – КЭП может вообще не образовываться. Частицы большого размера зачастую не внедряются в хромовую матрицу. В связи с этим весьма важным представляется создание композиционного электролитического покрытия на основе хрома с новыми видами модификаторов нанометровой дисперсности, промышленное получение которых стало возможным лишь в последние годы с развитием технологий. Использование порошков наночастиц сопряжено с агломерацией последних до устойчивых кластеров размером в единицы и десятки микрометров. При образовании наночастиц непосредственно в жидкости эта проблема отчасти снимается. При электроосаждении композиционных покрытий хорошо себя зарекомендовали наночастицы на основе углерода [2, 3]. Представляется перспективным использование в составе электролита хромирования наночастиц, синтезированных на основе технологии конденсации из плазмы электроимпульсного разряда в жидкости [4]. Целью настоящей работы явилось исследование характеристик гальванических покрытий на основе хрома, осажденных из электролита, содержащего наноразмерные продукты электроразрядного разрушения графита в водной среде.

Методика и техника экспериментальных исследований. Наночастицы получали путем конденсации из плазмы электроимпульсного разряда в жидкости при электроразрядном разрушении графитового образца на установке, которая состоит из генератора сильноточных электроимпульсов и разрядной камеры [5]. В результате получали водную наносuspension.

Электроосаждение хрома осуществляли на стальную подложку при стандартных режимах износостойкого хромирования. Для получения нано-электролита использовали дистиллированную воду, в которой проводили электроразрядное разрушение графита, и, содержащую, таким образом, наноразмерные и субмикронные частицы. Для получения модифицированных и контрольных образцов готовили стандартный сульфатный электролит хромирования на основе шестивалентных соединений хрома с использованием водной наносuspension и дистиллированной воды соответственно. Производили параллельное осаждение модифицированного хромового покрытия и контрольного немодифицированного, что гарантирует идентичные условия электролиза и устраняет влияние случайных факторов, возникновение которых характерно для последовательного получения образцов. Описание электролитической ячейки, использованной при параллельном получении образцов приведено в [6]. Хромирование вели при постоянном перемешивании электролита, т.к. это необходимо для поддержания во взвешенном состоянии частиц субмикронного размерного уровня (наночастицы кинетически устойчивы в жидкости), а также для облегчения удаления образующихся пузырьков водорода с поверхности катода. Термостатирование ванны производили подачей воды нужной температуры в рубашку охлаждения/подогрева.

Триботехнические испытания покрытий из гальванического хрома и КЭП на его основе проводили на машине трения по схеме «вал-частичный вкладыш». Покрытие наносили на внутреннюю часть кольцевого сектора, изготовленного из стали 45 с номинальной площадью контактирования равной 2 см². В качестве контртела использовали ролик из стали X12M с твердостью рабочей поверхности HRC=60 и шероховатостью не более R_a=0,32 мкм. В качестве смазочного материала использовали масло «Индустриальное» И-40А. Интенсивность изнашивания оценивали по формуле:

$$I = \frac{\Delta G}{\rho SL},$$

где ΔG - массовый износ, кг; ρ - плотность материала, кг/м³, S - площадь поверхности трения, м²; L - путь трения, м.

Измерение микротвердости покрытий на основе хрома производили на приборе ПМТ-3 при постоянной нагрузке на алмазную пирамиду $P=1,5\text{Н}$.

Результаты. С целью получения КЭП хорошего качества с высокими эксплуатационными характеристиками из стандартных электролитов, содержащих дисперсные добавки, при режимах износостойкого хромирования оценены триботехнические характеристики покрытий и их микротвердость в интервале концентраций ультрадисперсных частиц в растворе хромирования от 0,1 г/дм³ до 15 г/дм³. Данные измерений (таблица) свидетельствуют об увеличении микротвердости покрытий, осажденных из наноэлектролитов. Установлено, что микротвердость тонких слоев на базе

электролитического хрома возрастает с увеличением концентрации дисперсной добавки в электролите до 10 г/дм³. Дальнейший рост концентрации частиц в электролите до 15 г/дм³ не оказывает существенного влияния на твердость покрытий. Выявлено, что противозносные характеристики модифицированных покрытий повышаются по сравнению с немодифицированным хромовым покрытием (таблица).

Таблица – Результаты измерения микротвердости и триботехнических характеристик покрытий на основе электролитического хрома, в зависимости от концентрации дисперсного модификатора в электролите

| Концентрация добавки в электролите C , г/дм ³ | Микротвердость, H_{150} , МПа | Интенсивность изнашивания $I \times 10^{-12}$ | Коэффициент трения f |
|--|---------------------------------|---|------------------------|
| -- | 8600 | 8,0 | 0,08 |
| 0,1 | 9500 | 7,5 | 0,07 |
| 1 | 10000 | 6,4 | 0,06 |
| 5 | 10500 | 6,5 | 0,06 |
| 10 | 10700 | 6,5 | 0,06 |
| 15 | 10700 | 6,5 | 0,06 |

Полученные данные могут говорить о следующем. При низких концентрациях модификатора в электролите (0,1 г/л) количество внедрившихся в хромовую матрицу частиц невелико и механическое воздействие свободных частиц на поверхность катода при хромировании также незначительно. С ростом содержания дисперсного модификатора в электролите от 1 до 10 г/л, по-видимому количество частиц, внедрившихся в хромовую матрицу, достигает предельного значения при данных условиях электроосаждения [1], интенсивность изнашивания и микротвердость также находятся на одном уровне. Увеличение микротвердости образцов наряду со снижением интенсивности изнашивания и коэффициента трения модифицированных покрытий при больших концентрациях модификатора в электролите может быть также связано с усилением механического воздействия частиц на поверхность растущего осадка и катодный процесс. Воздействие частиц на катодный процесс может заключаться в затруднении разряда металлических ионов, и внедрения последних в кристаллическую решетку. Этот тормозящий эффект должен быть тем заметнее, чем выше содержание частиц в электролите. Адсорбируясь поверхностью катода, частицы также ограничивают диффузионные процессы в прикатодном слое, что вызывает рост концентрационной поляризации. Кроме того, частицы модификатора, по-видимому, инициируют образование зародышей и являются дополнительными центрами кристаллизации [7]. Эти факторы приводят к измельчению кристаллической структуры покрытий [8], повышению их твердости и износостойкости.

Заключение. Практически реализован способ получения частиц нано- и субмикронного размерного уровня методом электроразрядного разрушения графита в воде, показана возможность их использования для получения композиционных гальванических покрытий для повышения прочности и износостойкости поверхностей трения при изготовлении или восстановлении металлических деталей высоконагруженных узлов горных и сельскохозяйственных машин. Установлено, что введение в электролит дисперсных частиц способствует формированию гальванических хромовых покрытий с большей твердостью. Показано, что гальванические хромовые покрытия, полученные электроосаждением из наноэлектролита, характеризуются меньшими значениями интенсивности изнашивания и коэффициента трения в сравнении с хромовыми покрытиями, осажденными из стандартного электролита при тех же технологических режимах.

Список литературы

1. Сайфуллин Р.С. Композиционные покрытия и материалы. – Москва: «Химия», 1977. – 272 с.
2. Лещик С.Д. Электроосаждение хрома из наноэлектролитов, полученных с использованием технологий лазерной абляции твердофазных материалов в водной среде / С.Д. Лещик, П.И. Шупан, А.Г. Лежава // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2015. – № 1 (198). – С. 13–19.
3. Овчинников Е.В. Триботехнические характеристики композиционных многослойных покрытий / Е.В. Овчинников [и др.] // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 2. – С. 147–157.
4. Лещик С.Д. Исследование характеристик нанокomпозиционных покрытий на основе гальванической матрицы и наночастиц, синтезированных в плазме электроимпульсного разряда в жидкостях и методом лазерной абляции / С.Д. Лещик, Ж.В. Царикович, Н.П. Русак, И.Г. Сергиенко // Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников XIII Международной научно-практической конференции «Инновации в технологиях и образовании», 26 марта 2020 г.: Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово: Изд-во КузГТУ, 2020. – С. 85–88.
5. Сергиенко И.Г. Влияние временного фактора на поведение наночастиц меди и суспензий на их основе, полученных методами импульсной лазерной абляции и электроразрядного разрушения / Сергиенко И.Г., Зноско К.Ф., Лещик С.Д. // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 18–26.
6. Лещик С.Д. Электроосаждение хрома из наноэлектролитов, полученных с использованием технологий лазерной абляции твердофазных материалов в водной среде / С.Д. Лещик, П.И. Шупан, А.Г. Лежава // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2015. – № 1 (198). – С. 13–19.
7. Лещик С.Д. Кинетика кристаллизации композиционного покрытия для режущего и бурильного инструмента на основе электролитического

хрома и ультрадисперсных наполнителей // Горная механика. — 2006. — № 3, — С. 16-20.

8. Цыбульская Л.С., Гаевская Т.В. Влияние ультрадисперсного алмаза на процесс электрохимического осаждения никеля и сплава никель-бор.// Трение и износ. — 1997. —Т. 18, № 4. — с. 527-534.