

На основании проведенных исследований показана возможность осаждения среднедисперсного графита из раствора хромирования и получения КЭП хром-графит. Установлено, что шероховатость хром-графитового покрытия ( $R_a$ ) не изменяется с повышением концентрации графита в растворе хромирования.

Микротвердость (HV) полученных покрытий с увеличением концентрации графита изменяется незначительно, остается практически постоянной и равной 8 ГПа.

Интенсивность износа покрытия (W) изменяется незначительно с увеличением концентрации графита в растворе, а износ контртела (сталь HV 466,9 и HRC 46,2) постепенно уменьшается, приблизительно в 1,2 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №15-13-00126).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Raj Narayan. Electrodeposited Chromium-Graphite Composite Coatings / Raj Narayan, Narayana B. H.: Electrochemical science and technology, 1981. V. 128, № 8. P. 1704-1708.

2. Водопьянова С.В. Формирование покрытий с матрицей из хрома в электролитах-суспензиях: диссертация ... кандидата химических наук: 05.17.03. Казань, 2001. С. 128.

3. Елинек Т.В. Успехи в гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 1998-1999 гг.: Гальванотехника и обработка поверхности, 2000. Т. 8, № 2. С. 9-15.

4. Винокуров Е.Г., Арсенкин К.В., Григорович К.В., Бондарь В.В. Электроосаждение модифицированных дисперсными частицами хромовых покрытий.: Защита металлов, 2006. Т. 42, № 3. С. 312 – 316.

УДК 621.357.7

О.Ю. Логинова, асп., Т.Е. Цупак, проф., д-р техн. наук,  
Е.Г. Винокуров, проф., д-р хим. наук  
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва)

#### **АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ Ni-P ПОКРЫТИЙ**

В последнее время представляет практический интерес электроосаждение аморфных и нанокристаллических сплавов, в том числе сплава никель-фосфор. Одно из основных назначений никель-фосфорных покрытий – это повышение микротвёрдости и сопротивления механическому износу. Обладая хорошей износостойкостью

сплавы никеля с фосфором могут стать альтернативой хромовым покрытиям, особенно с целью упрочнения поверхности деталей [1].

Осаждение сплава Ni-P проводили из сульфатно-глицинатно-хлоридного электролита, содержащего сульфат никеля – 0,5М, соляную кислоту – 0,1М, глицин – 0,2М, гипофосфит натрия – 0,025-0,05М при  $t$  50<sup>0</sup>С,  $i_k$  2-10 А/дм<sup>2</sup>, рН 2,3.

Испытания на абразивное изнашивание проводили на установке Taber Linear Abraser 5750 («TABER Industries», США) с использованием в качестве абразива стержня Wearaser CS-17 (Ø ¼", резина с абразивными частицами оксида алюминия, жёсткое абразивное воздействие) со средней скоростью 60 циклов/мин, при нагрузке 10,8 Н, длине рабочего хода в одну сторону 12,7 мм, пути трения 12,7 м. Перед каждым опытом абразив зачищали с помощью шлиф-полоски S-14. Первый опыт в расчётах не учитывали.

Интенсивность изнашивания рассчитывали по формуле:

$$W = \Delta m / \rho S L,$$

где  $W$  – интенсивность изнашивания поверхности образца, мкм/м, м/м;  $\Delta m$  – потери массы образца, г;  $\rho$  – плотность сплава, г/см<sup>3</sup>;  $S$  – геометрическая площадь контакта, см<sup>2</sup>;  $L$  – путь трения, м.

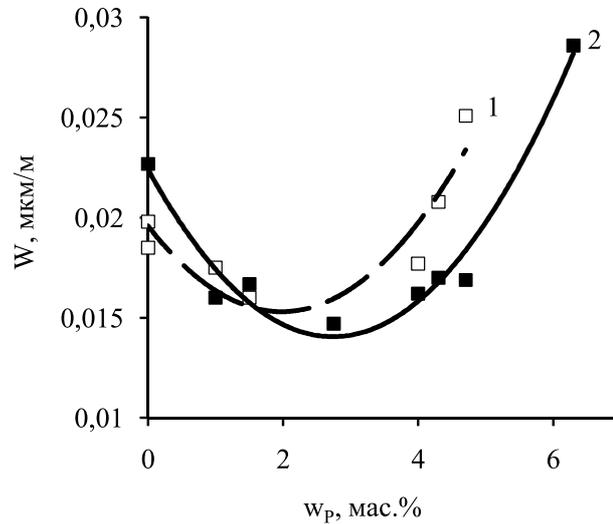
Износостойкость измеряли как величину, обратную интенсивности изнашивания  $WR = (1/W)$ . Термообработку Ni-P покрытий проводили в электропечи СНОЛ-3/11-И2 в воздушной среде при 400<sup>0</sup>С в течение 1 ч.

Результаты испытаний представлены на рисунке 1. Увеличение содержания фосфора в сплаве изначально приводит к уменьшению интенсивности изнашивания, а затем к резкому росту. Минимальное значение интенсивности изнашивания, т.е. максимальная износостойкость, наблюдается при содержании фосфора в покрытии 2–3 мас.% (рисунок 1). После термической обработки величина износа снизилась для всех покрытий, предположительно за счёт образования твёрдой фазы фосфида никеля.

Морфология поверхностей трения проанализирована с помощью микроскопа на установке «HVS–1000» (таблица 1) при увеличении  $\times 400$ .

Исследование поверхностей показало, что происходит абразивное изнашивание покрытия сплавом никель-фосфор по механизму микрорезания и многократного пластического деформирования. На это указывает наличие характерных следов микрорезания в виде борозд, ориентированных в направлении движения абразивных зёрен (таблица 1), а также содержание в продуктах изнашивания большого количества микростружки, образующейся в процессе одноактного от-

деления микрообъёма металла под воздействием абразивного зерна. В работе [2] авторы предполагают, что поверхность никель-фосфорного покрытия в основном подвергается окислительному изнашиванию с усталостным разрушением оксидов никеля.

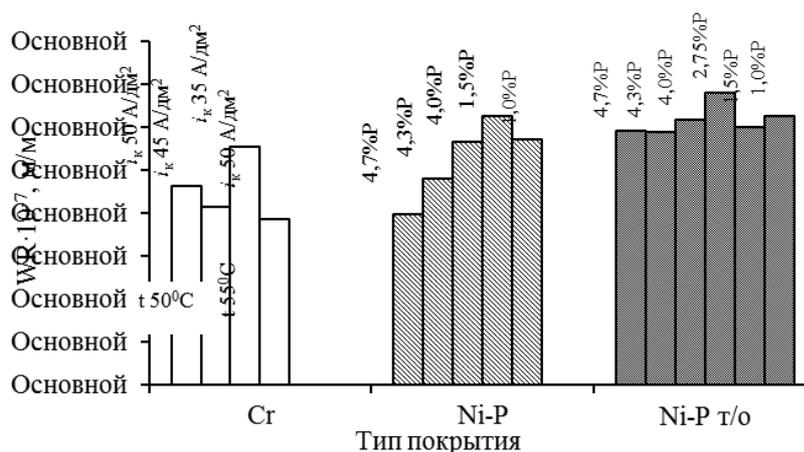


**Рисунок 1. Зависимость интенсивности изнашивания поверхности от состава сплава никель-фосфор до термообработки (кр.1) и после термообработки (кр.2)**

**Таблица 1 - Поверхность образцов после абразивного изнашивания**

$i_k$ , А/дм <sup>2</sup>	2	5	7	10
w <sub>p</sub> , мас.%	6,3	4,3	4,0	2,75
До термо- обработки				
После тер- мо- обработки (400 <sup>0</sup> С, 1 ч)				

Для сравнения износостойкости никель-фосфорных покрытий с хромовыми покрытиями были проведены трибологические испытания хромовых покрытий, осаждённых из электролита состава: CrO<sub>3</sub> – 250 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 2,5 г/л при t 50–55<sup>0</sup>С и плотности тока  $i_k$  35–50 А/дм<sup>2</sup>.



**Рисунок 2 - Износостойкость сплава никель-фосфор (1–4,7 мас.% P) до и после термообработки при 400<sup>0</sup>С в воздушной атмосфере в сравнении с хромовыми покрытиями**

Как видно из сравнительной диаграммы (рисунок 2) покрытия сплавом никеля с фосфором не уступают по износостойкости хромовым покрытиям, а порой даже превышают износостойкость хрома, осаждённого в указанных выше условиях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. Никелирование: учебное пособие/ Под. ред. В.Н. Кудрявцева. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 192с.
2. И. Р. Асланян, Л. Ш. Шустер. Изнашивание электролитических NiP покрытий при трении скольжении. Электронный научный журнал "Труды ВИАМ": [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=789](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=789).

УДК 66.087.4

А.М. Гайдукова, В.А. Бродский, В.А. Колесников  
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

### **ВЛИЯНИЕ ПАВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В ПРИСУТСТВИИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЯ**

Одной из ключевых проблем промышленных предприятий является загрязнение окружающей среды токсичными отходами. В особенности это относится к сточным водам. Сточные воды в гальванотехнике – это не только промывные воды, но и отработанные