

Исследование морфологии, силы и  $K_{тр}$  было произведено с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ). Методика испытаний заключалась в том, что один участок на поверхности каждого образца сканировали многократно при постоянной нагрузке. На основе экспериментальных значений величины закручивания зонда АСМ, калибровочного коэффициента и паспортных данных зонда рассчитывали значения силы трения и  $K_{тр}$  и получали зависимость  $K_{тр}$  от циклов сканирования (длины пути). Наименьший коэффициент трения 0,082 был определен для покрытия Ti – Ti+DLC – DLC.

Данные исследования позволяют определять параметры микроструктур, что даёт представление о свойствах материалов таких размеров и в свою очередь расширяет материальную базу для конструкторов.

#### Список использованных источников

1. Кузнецова, Т.А. Исследование триботехнических свойств поверхности нанокomпозиционных многослойных металл-углеродных покрытий с использованием АСМ/ Т.А. Кузнецова [и др.] // Методол. аспекты скан. зонд. микроскопии: сб. докл. XIII Междунар. конф., Минск, 16-19 окт. 2018 г. – Минск: Беларуская навука, 2018. – С. 176-181.

УДК 621.793

### ФОРМИРОВАНИЕ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДЕФОРМАЦИОННЫМ ПЛАКИРОВАНИЕМ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Пилипчук Е.В.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: p.ili.p@yandex.ru

**Abstract.** *The results of comparative tribotechnical tests of chromium coatings formed using electroplating deposition and electro-deformation cladding with a flexible tool (EDCFT) are presented. It has been established that in case of friction without lubricant, rubber collars on the surface of samples with coating, the smallest values of sliding friction coefficient ( $f_{mp}$ ) and total weight wear ( $\Delta m$ ) are observed for samples with chrome coatings formed by galvanic deposition ( $f_{mp} = 0.37$ ,  $\Delta m = 0.2 \cdot 10^{-3}$  g) and by the EDCFT I method from a donor doped with ultradispersed diamond-graphitic charge UDGC ( $f_{mp} = 0.35$ ,  $\Delta m = 0.23 \cdot 10^{-3}$  g).*

**Введение.** Неотъемлемой частью гидроприводов являются гидроцилиндры возвратно-поступательного движения. Для обеспечения высокой герметичности соединения «шток - резиновая манжета» и требуемого ресурса поверхность штока подвергают гальваническому хромированию, при котором сформированное хромовое покрытие с толщиной слоя 20–25 мкм обладает твердостью более 60 HRC, адгезией – более 30 МПа, повышенной износо- и коррозионной стойкостью. Однако стоит отметить, что технология гальванического хромирования является весьма энерго- и трудоемкой, экологически небезопасной и экономически неоправданной в условиях единичного и серийного производства, что требует изыскания новых способов формирования хромовых покрытий.

Известны попытки замены гальванического хромирования гиперзвуковой металлизацией [1], газотермическим и детонационным напылением, однако они пока не получили широкого промышленного применения в силу ряда причин, главными из которых являются высокая стоимость применяемого оборудования и необходимость последующей обработки сформированных покрытий. Указанных недостатков лишена перспективная финишная технология электродеформационного плакирования гибким инструментом (ЭДПГИ), сочетающая поверхностное упрочнение с формированием покрытия. Технология отличается простотой реализации, несложностью исполнения необходимых технических средств, малой энергоемкостью, высокими эксплуатационными характеристиками сформированных покрытий. Однако в ходе предварительных испытаний было установлено, что сформиро-

ванные способом ЭДПГИ хромовые покрытия обладают худшими триботехническими характеристиками, чем гальванические хромовые покрытия.

Для улучшения триботехнических характеристик хромовых покрытий, сформированных способом ЭДПГИ, предлагается легировать исходный материал покрытия. Известно, что введение твердых дисперсных частиц в покрытия, например, в электрохимические, повышает их микротвердость и износостойкость [2]. Основная задача при этом – подобрать легирующие добавки, способные при содержании их в небольших количествах в покрытиях существенно улучшать их эксплуатационные характеристики. Распространенными добавками являются наноалмазы детонационного синтеза (УДА), при добавлении их в состав электрохимических хромовых покрытий, наблюдается многократное увеличение срока службы изделий. [12]. В этой связи представляется целесообразным использовать в качестве материала покрытия при плакировании хром, легированный различными добавками.

**Цель работы** заключалась в сравнительной оценке триботехнических характеристик хромовых покрытий, сформированных гальваническим осаждением и электродеформационным плакированием гибким инструментом.

**Материалы и инструменты.** Для проведения триботехнических испытаний использовали образцы в виде дисков из стали 40Х, диаметром 70 мм и толщиной 5 мм, подвергнутые объемной закалке до твердости 50 HRC и последующей шлифовке до  $R_a = 0,2 \dots 0,3$  мкм. В качестве контрольных образцов использовались цилиндрические ролики диаметром 6 мм и длиной 12 мм, изготовленные из маслостойкой резины с модулем упругости 15 МПа.

На плоских поверхностях дисков методами гальванического осаждения и ЭДПГИ формировали хромовые покрытия. В качестве материалов-доноров при ЭДПГИ использовали бруски из спеченных порошков как чистого, так и легированного хрома, полученные методами порошковой металлургии.

Толщина слоя хромовых покрытий, сформированных способом ЭДПГИ, не превышала 5...7 мкм. При этом шероховатость поверхности составляла  $R_a = 0,3 \dots 0,36$  мкм, микротвердость покрытия  $HV_{0,2} = 612 \dots 634$ . Электролитическое хромирование с осаждением слоя твердого ( $HV_{0,2} = 990 \dots 1200$ ) хрома толщиной 30–35 мкм выполнялось по типовой технологии, применяемой в ЗАО «Синта» (РБ) с последующим шлифованием до  $R_a = 0,2 \dots 0,32$  мкм.

В ходе испытаний регистрировали коэффициент трения скольжения ( $f_{тр}$ ), и весовой износ  $\Delta m$  диска и ролика.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Изучение морфологии поверхностного слоя хромовых покрытий показало наличие явно выраженных следов взаимодействия ворса щетки с поверхностью, ориентированных в соответствии с положением щетки относительно обрабатываемой поверхности.

Стальные поверхности экспериментальных образцов дисков после нанесения хромового покрытия способом ЭДПГИ приобретают характерный для хрома белый цвет. Внешний вид рельефа поверхности покрытия имеет слегка шероховатую структуру, состоящую из плотно уложенных и вытянутых в направлении вращения щетки различных по размерам микрочастиц хрома. Дефекты в виде несплошностей и «островковости» отсутствуют.

В ходе испытаний было выявлено, что покрытие, сформированное методом ЭДПГИ из хрома, легированного УДАГ, имеет триботехнические характеристики, сопоставимые с хромовым покрытием, сформированным гальваническим методом. Так, среднее значение величины коэффициента трения скольжения в паре трения с плакированным покрытием из хрома, легированного УДАГ, составляет  $f_{тр} = 0,35$ , а в паре трения с гальваническим хромовым покрытием  $f_{тр} = 0,37$ . Эти значения на 7,5% и 12,5% соответственно ниже, чем в паре трения без покрытия, где  $f_{тр} = 0,4$ . Анализ данных по весовому износу образцов позволяет заключить, что образцы пар трения с гальваническим хромовым покрытием и деформационно-плакированным хромовым покрытием, легированным УДАГ, имеют минимальные и, практически, одинаковые значения величин весового износа.

Однако зависимость коэффициента трения от времени испытаний в паре трения с покрытием «хром+УДАГ» имеет более ровный, сглаженный характер, чем в случае использования покрытия из гальванического хрома, где фиксируются резкие изменения коэффициента трения. Подобные скачки коэффициента трения нежелательны при работе многих реальных узлов трения, в которых плавность изменения коэффициента трения имеет большое значение и влияет на служебные характеристики изделия.

**Выводы.** Покрытия, сформированные методом ЭДПГИ из хрома, легированного ультрадисперсной алмазнографитной шихтой УДАГ, по своим триботехническим характеристикам сопоставимы с гальваническими покрытиями из твердого хрома, и вполне могут быть использованы для нанесения на рабочие поверхности штоков гидроцилиндров гидравлических систем станков.

#### Список использованных источников

1. Перспективы замены гальванического хромирования гиперзвуковой металлизацией / М.А. Белоцерковский [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сборник научных трудов / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. – 2014. – Вып. 3. – С. 324–328.
2. Солодкова Л.Н. Электролитическое хромирование / Л.Н. Солодкова, В.Н. Кудрявцев; под ред. В.Н. Кудрявцева. – М.: РХТУ, 2013. – 191 с.

УДК 666.227.8, 666.11.01

### НОВЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ

Соломаха Т.А., Третьяк Е.В.

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем  
Белорусского государственного университета  
e-mail: solomakha.tanja@gmail.com

***Abstract.** In this paper the application of inorganic phosphors was considered. The limitations of its application and synthesis methods and the ways of overcoming these restrictions were described. Two approaches to the synthesis of inorganic phosphors in the form of glass-ceramics were discussed. The possibility of the synthesis of two different kinds of materials in a glass-ceramic form (alkali-earth iodides, doped with Eu ions, and garnets, doped with Ce or Eu ions) was demonstrated.*

В настоящее время оксидные и галогенидные соединения находят применение в различных областях: от осветительных приборов до сцинтилляционных детекторов. Однако использование некоторых из этих соединений имеет ряд ограничений, связанных с их химической природой или сложностями синтеза. Так, например, из-за высокой гигроскопичности галогенидные соединения требуют защиты от атмосферы. Также ввиду структурной анизотропии они не могут быть получены в форме больших монокристаллов. В случае оксидных соединений не всегда возможно осуществить их получение в виде монокристаллов по причинам улетучивания компонентов при высоких температурах или плавления соединения с разложением.

Синтез оксидных и галогенидных соединений в виде стеклокерамик позволяет снять большинство вышеперечисленных ограничений. Таким образом, для данных материалов характерны следующие преимущества: стеклянная оболочка может выступать в роли защиты кристаллического соединения от окружающей среды; состав кристаллитов может быть изменён с помощью модифицирования исходного состава стекла; размер кристаллитов можно контролировать изменением условий кристаллизации. Стоит отметить, что любые оксидные или галогенидные соединения могут быть получены в форме стеклокерамик.

Для получения материалов в форме стеклокерамик могут быть использованы два различных подхода к синтезу. Первый подход предусматривает смешивание порошков исходных люминофоров и стекол с их последующим нагреванием при высоких температурах.