

**КОМПОЗИЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ  
МЕХАНИЧЕСКИ УПЛОТНЕННОЕ ПОКРЫТИЕ  
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

**COMPOSITE ELECTROCHEMICAL MECHANICALLY SEALED  
IRON-BASED COATING**

**Изоитко В. М.**, канд. техн. наук, доц.,

**Буйкус К. В.**, канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

V. Izoitko, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

K. Buikus, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*На основании испытания на задиростойкость композиционных электрохимических покрытий установлен наиболее вероятный механизм изнашивания, предложен возможный механизм действия модификатора, отмечена связь между морфологией поверхности композита и его противоизносными характеристиками.*

*Based on the scuff test of composite electrochemical coatings, the most probable wear mechanism was established, a possible mechanism of action of the modifier was proposed, and the relationship between the surface morphology of the composite and its antiwear characteristics was noted.*

*Ключевые слова: никель-фосфорное покрытие, гипофосфит, раствор, срок службы.*

*Keywords: nickel-phosphorus coating, hypophosphite, solution, service life.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов повышения физико-механических характеристик покрытий, полученных из однородных металлов, является их модификация в процессе нанесения наполнителями, что позволяет целенаправленно изменять их свойства в требуемом направлении с учетом функционального назначения.

Существенный интерес представляет создание композиционного покрытия на базе гальванического железа. Это обусловлено тем, что нанесение железных покрытий электролитическим методом является одним из наиболее распространенных способов повышения износостойкости рабочих поверхностей автотракторных деталей.

Из всего разнообразия наполнителей особенное место занимают ультрадисперсные порошки, такие как, например, ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза (УДА), имеющие средние размеры 4–6 нм.

Использование ультрадисперсных добавок для создания композиционных электрохимических покрытий на основе железа предпочтительно, т. к. содержание второй фазы в железной матрице редко превышает 2 % (мас.) [1], а высокодисперсные частицы способны обеспечить больший эффект упрочнения, по сравнению с другими более крупными частицами [2].

Объектом исследований в данной работе являлись покрытия из гальванического железа, модифицированные ультрадисперсными алмазами и фторсодержащими олигомерами.

## МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Покрытия на поверхности стали получали электрохимическим осаждением железа из суспензии, представляющей стандартный электролит для железнения с добавкой УДА. В процессе нанесения покрытие периодически подвергали поверхностно-пластической обработке – обкатывали роликом.

## РЕЗУЛЬТАТ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью оптической микроскопии (сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения MIRA) и профилометрии (профилограф-профилометр мод. 252) установлено, что качество поверхности образца после железнения значительно ухудшается из-за глобулярной структуры железа, что подтверждается данными из литературных источников [3]. Добавление УДА в электролит для железнения приводит к осаждению более гладких покрытий. При этом размер надструктурных образований уменьшается на 10–15 %. Таким образом, использование модификатора в ряде случаев может уменьшить производственные затраты на дополнительное шлифование покрытия.

Однако до сих пор не было установлено, происходит ли изменение строения и свойств покрытий вследствие внедрения фазы ультрадисперсного алмаза в железную матрицу; либо присутствие частиц модификатора увеличивает величину катодной поляризации, что приводит к измельчению структуры [4] и соответствующему изменению свойств покрытий без образования композиции. Для изучения фазового строения модифицированных покрытий использовали сканирующий зондовый микроскоп с одновременной записью изображения топографии и фазы колебаний зонда. Изменения фазы колебаний происходят при изменении, например, модуля упругости материала. Таким образом можно получить информацию о размерах и расположении фаз в композиции.

Данные фазового анализа подтверждают, что из суспензии, представляющей собой стандартный электролит железнения с добавкой высокодисперсного порошка, при режимах железнения осаждается композиционное покрытие.

Установлено, что частицы УДА распределены в покрытии в виде областей по 100 нм. Предполагаем, что это следствие агломерации частиц под действием ионных сил электролита.

Исследования показали, что морфология поверхности, а также микротвердость модифицированного железа существенно зависят от концентрации добавки в электролите. Наименьшую шероховатость имеют покрытия, полученные из электролита, содержащего 5–10 г/л УДА. Максимальное значение микротвердости наблюдалось при содержании модификатора около 10 г/л электролита.

Данные атомно-силовой микроскопии (атомно-силовой микроскоп НТ 206) свидетельствуют, что из раствора ФСО на поверхности железа формируется сплошная пленка, закрывающая исходный микрорельеф.

Для проведения сравнительных триботехнических испытаний использовали образцы с железоалмазным покрытием, полученным электролизом, содержащего УДА в количестве 10 г/л электролита.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что модифицирование железной матрицы частицами УДА позволяет снизить интенсивность изнашивания в условиях граничной смазки гальванического железного покрытия на 45–48 %, а коэффициент трения на 30 %. Кроме того, при эксплуатации в паре с модифицированным

железом износ контртела в 2,5–3 раза меньше, чем в паре с базовым железным покрытием.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований были выполнены испытания покрытий на задиростойкость. На основании полученных данных установлен наиболее вероятный механизм изнашивания КЭП, предложен возможный механизм действия модификатора, отмечена связь между морфологией поверхности композита и его противоизносными характеристиками.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Власов, В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В. М. Власов. – М. : Машиностроение, 1987. – 304 с.
2. Сайфуллин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1977. – 272 с.
3. Плетнев, В. А. Основы технологии износостойких и антифрикционных покрытий / В. А. Плетнев, В. Н. Брусенцова. – М. : Машиностроение, 1968. – 272 с.
4. Антропов, Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов. – М. : Высшая школа, 1984. – 519 с.
5. АСМ-исследования частиц ультрадисперсного алмаза и их агломератов / С. А. Чижик [и др.] / Второй Белорусский семинар по сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ-2). Краткие сообщения. – Минск : Деловая инициатива, 1997. – 87 с.
6. Антропов, Л. И. Композиционные электрохимические покрытия и материалы / Л. И. Антропов, Ю. Н. Лебединский. – Киев : Техніка, 1986. – 95 с.
7. Бородин, И. Н. Порошковая гальванотехника / И. Н. Бородин. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.

Представлено 24.04.2022