

# Композиционные электрохимические покрытия железо – никель – фуллерен C<sub>60</sub>

В. Н. Целуйкин, О. Г. Неверная, Г. В. Целуйкина

---

Получены композиционные электрохимические покрытия (КЭП) железо – никель – фуллерен C<sub>60</sub>. Изучены состав и трибологические свойства данных КЭП в сопоставлении с железоникелевыми сплавами, не содержащими дисперсной фазы.

**Ключевые слова:** композиционные электрохимические покрытия, сплав железо-никель, фуллерен C<sub>60</sub>, коэффициент трения.

---

Composite electrodeposits (CED) iron – nickel – fullerene C<sub>60</sub> was obtained. Composition and tribological properties of this CED in comparison with iron – nickel alloys without disperse phase were studied.

**Key words:** composite electrodeposits, iron – nickel alloy, fullerene C<sub>60</sub>, friction coefficient.

---

## Введение

Создание КЭП — одно из актуальных направлений современной функциональной гальванотехники. Принцип получения КЭП основан на том, что вместе с металлами из электролитов-суспензий соосажаются дисперсные частицы различных размеров и видов. Эффективность практического использования КЭП во многом определяется природой дисперсной фазы [1, 2]. Перспективным дисперсным материалом композиционных покрытий является фуллерен C<sub>60</sub>, обладающий целым комплексом уникальных химических свойств [3 – 5]. Ранее были получены и исследованы КЭП никель – фуллерен C<sub>60</sub> [6 – 8] и медь – фуллерен C<sub>60</sub> [9].

Цель настоящей работы — изучение процесса совместного электроосаждения фуллерена C<sub>60</sub> со сплавом железо – никель и трибологических свойств формирующихся при этом покрытий.

## Методика эксперимента

Коллоидную дисперсию фуллерена C<sub>60</sub> в воде без органических растворителей готовили по ранее разработанной методике [10]. Средний размер частиц в дисперсии составлял 24 нм. Приливая данную дисперсию к электролиту осаждения сплава железо

– никель получали раствор с концентрацией компонентов, г/л: NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O — 450; FeCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O — 150; HCl — 2; C<sub>60</sub> — 0,05. Электролитическое осаждение КЭП железо – никель – фуллерен C<sub>60</sub> проводили на стальную основу (сталь 45) при температуре 50°C. Покрытия “чистым” сплавом железо – никель осаждали из электролита приведенного состава без добавки C<sub>60</sub>.

Анализ осадков сплава железо – никель и КЭП железо – никель – фуллерен C<sub>60</sub> осуществляли методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) [11] на магнитном масс-спектрометре МИ-1305, оснащенном универсальной приставкой для исследования твердых тел. Покрытия, предназначенные для анализа, осаждали на медную основу.

Коэффициент трения скольжения  $f$  электролитических покрытий определяли в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, и рассчитывали по формуле:

$$f = \frac{F_{\text{тр}}}{P} = \text{tg}\alpha,$$

где  $F_{\text{тр}}$  — сила трения скольжения;  $P$  — сила, с которой контртело давит на испытываемую поверхность.

В качестве контртела использовали стальной образец. Масса контртела во всех испытаниях составляла 1 г.

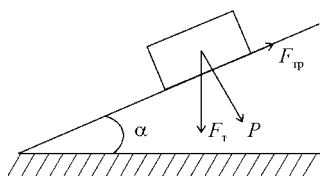


Рис. 1. Схема определения коэффициентов трения скольжения.  $F_{тр}$  — сила трения скольжения;  $F_t$  — сила тяжести;  $P$  — сила, с которой контртело давит на испытываемую поверхность.

Электрохимические измерения проводили на импульсном потенциостате Р-30S. Потенциалы задавали относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода сравнения и пересчитывали по водородной шкале.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сравнение потенциодинамических поляризационных кривых электроосаждения сплава железо – никель и КЭП железо – никель – фуллерен  $C_{60}$ , показывает, что введение дисперсных частиц  $C_{60}$  в электролит облегчает катодный процесс (рис. 2). При наличии дисперсной фазы сплав железо – никель выделяется при менее отрицательных значениях  $E$  во всей изученной области потенциалов. Увеличение токов при осаждении композиционных покрытий по сравнению с “чистым” сплавом железо – никель указывает на возрастание скорости процесса электроосаждения.

Как полагают авторы [12], перенос частиц дисперсной фазы к катоду может протекать через стадию адсорбции на их поверхности катионов осаждаемого металла. Получив такой заряд, частицы переносятся к катоду и там заращаются разряжающимся металлом. Адсорбированные на частицах ионы участвуют в мостиковом связывании дисперсной фазы с поверхностью катода, которое ослабляет расклинивающее давление жидкостной прослойки между частицей и катодом, то есть усиливает адгезию. Фуллерен  $C_{60}$ , будучи акцептором электронов, в растворе электролита при пропускании тока будет склонен к приобретению отрицательного заряда. Это, в свою очередь, должно способствовать адсорбции на нем катионов металлов, так что в конечном итоге дисперсные частицы, двигаясь к катоду, встраиваются в кристаллическую решетку электролитического осадка.

Анализ методом ВИМС состава сплавов железо – никель, осажденных при катодной плотности тока  $10 \text{ А/дм}^2$ , показал, что они содержат 40% железа и 60% никеля. Осадки КЭП железо – никель – фуллерен

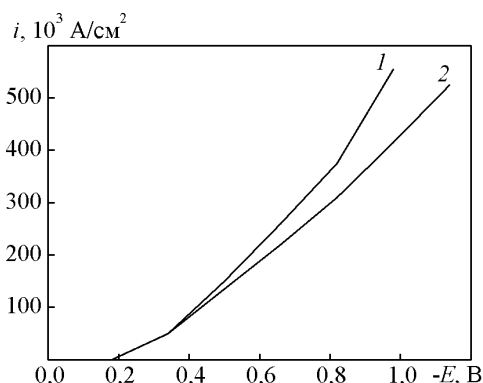


Рис. 2. Потенциодинамические поляризационные кривые осаждения КЭП железо – никель – фуллерен  $C_{60}$  (1) и сплава железо – никель (2) ( $v_p = 8 \text{ мВ/с}$ ).

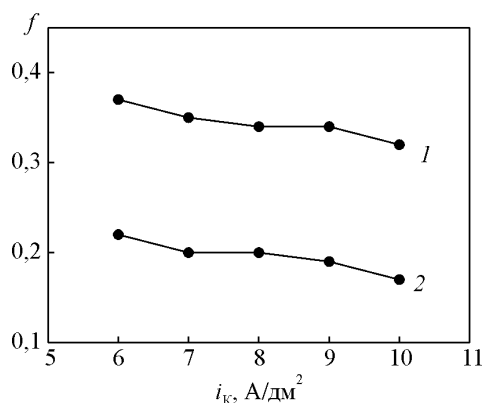


Рис. 3. Коэффициенты трения скольжения  $f$  сплавов железо – никель (1) и КЭП железо – никель – фуллерен  $C_{60}$  (2) в зависимости от плотности катодного тока  $i_k, \text{ А/дм}^2$ .

$C_{60}$ , полученные при тех же условиях, включают около 1 масс. % углерода, причем наибольшее содержание дисперсной фазы наблюдается в поверхностных слоях композиционных покрытий.

Включение дисперсных частиц в покрытие приводит к структурным изменениям металлической матрицы [2], что, в свою очередь, должно сказываться на его эксплуатационных свойствах. Существенный интерес в практическом отношении представляют трибологические характеристики металлических поверхностей. Коэффициенты трения скольжения КЭП железо – никель – фуллерен  $C_{60}$  уменьшаются в 1,5 – 2 раза по сравнению со сплавом железо – никель без дисперсной фазы (рис. 3). Вероятно это связано с тем, что фуллерены, которые при электроосаждении выпадают в осадок, выполняют функцию сухой смазки (эксперимент проводили в условиях сухого трения).

Согласно данным [13, 14], добавление фуллерена в индустриальное масло также приводит к умень-

шению коэффициента трения, поскольку  $C_{60}$  вступает во взаимодействие с молекулами смазки и образует так называемые “полимеры трения”. При этом на металлической поверхности формируется пластичный слой (трибополимерная пленка) с низким сопротивлением сдвигу. Можно предположить, что наличие фуллерена непосредственно в гальваническом покрытии облегчит процесс образования трибополимерной пленки при добавлении смазки между трущимися поверхностями и ещё более снизит коэффициент трения.

### **Выводы**

Введение дисперсных частиц фуллерена  $C_{60}$  в хлоридный электролит осаждения сплава железо – никель облегчает катодный процесс и способствует формированию композиционных покрытий. Фуллерен  $C_{60}$  оказывает определяющее влияние на трибологические характеристики изученных КЭП.

### **Литература**

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983, 240 с.
2. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. Киев: Техника, 1986, 200 с.
3. Караулова Е.Н., Багрий Е.И. Фуллерены: методы функционализации и перспективы применения производных. Успехи химии, 1999, т. 68, № 11, с. 979 – 998.
4. Сидоров Л.Н., Юровская А.Я., Борщевский И.В., Трушков И.Н., Иоффе И.Н. Фуллерены. М.: Экзамен, 2005, 688 с.
5. Трошин П.А., Любовская Р.Н. Органическая химия фуллеренов: основные реакции, типы соединений

- фуллеренов и перспективы их практического использования. Успехи химии, 2008, т. 77, № 4, с. 323 – 369.
6. Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Электроосаждение композиционных покрытий никель–фуллерен  $C_{60}$ . Защита металлов, 2007, т. 43, № 4, с. 418 – 420.
  7. Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Получение композиционных электрохимических покрытий никель–фуллерен  $C_{60}$ . Журнал прикладной химии, 2008, т. 81, № 7, с. 1106 – 1108.
  8. Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Модифицирование фуллереном  $C_{60}$  металлических поверхностей. Российские нанотехнологии, 2008, т. 3, № 7 – 8, с. 80 – 83.
  9. Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Влияние фуллерена  $C_{60}$  на свойства электролитических медных покрытий. Перспективные материалы, 2007, № 5, с. 82 – 84.
  10. Целуйкин В.Н., Чубенко И.С., Гунькин И.Ф., Панкстыанов А.Ю. Коллоидная дисперсия фуллерена  $C_{60}$  без органических растворителей. Журнал прикладной химии, 2006, т. 79, № 2, с. 326 – 327.
  11. Черепин В.Т. Ионный микрондовый анализ. Киев: Наукова думка, 1992, 342 с.
  12. Сайфуллин Р.С., Абдуллин И.А. Композиционные электрохимические покрытия. Современные исследования казанских химиков. Российский химический журнал, 1999, т. 63, № 3 – 4, с. 63 – 67.
  13. Шепелевский А.А., Шибаяв Л.А., Гинзбург Б.М., Булатов В.П. Влияние фуллерена  $C_{60}$  на смазочный процесс в зазоре трибопары сталь – медь. Журнал прикладной химии, 1999, т. 72, № 7, с. 1198 – 1204.
  14. Гинзбург Б.М., Шибаяв Л.А., Киреев О.Ф. и др. Термическая деструкция фуллеренсодержащих полимерных систем и образование трибополимерных пленок. Высокомолекулярные соединения. Серия А, 2005, т. 47, № 2, с. 296 – 314.

*Целуйкин Виталий Николаевич — Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор. Специалист в области гальванотехники. E-mail: tseluikin@mail.ru*

*Неверная Ольга Геннадьевна — Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета, кандидат химических наук, ассистент. Специалист в области гальванотехники.*

*Целуйкина Галина Васильевна — Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент. Специалист в области гальванотехники.*