

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА

*Брянская государственная инженерно-технологическая академия,
пр-т Станке Димитрова, 3, г. Брянск, 241037, Россия, ypk2@mail.ru

**Брянская государственная сельскохозяйственная академия,
Брянская обл., пос. Кокино, 243365, Россия

*** Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, croituru@phys.asm.md

Введение

Осаждение композиционных электрохимических покрытий (КЭП) на основе железа позволяет значительно расширить область рационального применения технологии за счет значительного повышения качества и износостойкости гальванических покрытий [1–3]. Выбор электролита для получения матрицы КЭП и наполнителя определяется назначением обрабатываемых деталей и условиями их работы. В качестве наполнителя КЭП весьма перспективны микропорошки электрокорунда белого. При этом предпочитают использовать как связующие сплавы на основе железа, которые позволяют улучшить физико-механические свойства КЭП [4,5]. Однако сведения об их работоспособности в условиях абразивного изнашивания ограничены. На основе имеющихся данных нельзя определить взаимосвязь механических свойств покрытий и условий их получения, что уменьшает возможности выбора матрицы КЭП, и объективно судить о закономерностях поведения восстановленных деталей при эксплуатации. Вместе с тем однозначно не установлено, какие размеры и объемное содержание частиц дисперсной фазы (ДФ) в покрытии обеспечивает наибольшую износостойкость КЭП в условиях абразивного изнашивания. Для разработки технологического процесса нанесения композиционных покрытий на быстроизнашиваемые детали сельскохозяйственной техники необходимо изучить влияние ДФ на работоспособность КЭП и выбрать оптимальные условия получения наиболее износостойкой основы.

Поэтому целью работы было разработать способ повышения долговечности быстроизнашиваемых деталей сельскохозяйственной техники композиционными электрохимическими покрытиями на основе железо-никелевого сплава.

Методика исследований

Железо-никелевые покрытия получали из электролита состава, кг/м³: FeCl₂·4H₂O – 500; NiSO₄·7H₂O – 100, Na₂H₄C₄O₆·2 H₂O – 1,5. Железо-кобальтовые осадки – из электролита состава, кг/м³: FeCl₂·4H₂O – 500; CoSO₄·7H₂O – 100, Al₂(SO₄)₃·18 H₂O – 80. Интервалы варьирования режимов электролиза: температура электролита T – от 30 до 80°C, плотность тока D – от 13,4 до 46,8 А/дм², pH раствора – от 0,2 до 1,2. Исследования условий подготовки сталей и определение возможности использования рекомендаций литературы по анодной обработке проводили в электролите: H₂SO₄ – 300–350 кг/м³; FeCl₂·4H₂O – 20–22 кг/м³ [2]. Влияние параметров электролиза на свойства и абразивную износостойкость покрытий проводили с применением центрального ротатбельного униформпланирования второго порядка при k=3 [6].

Образцы КЭП получали из железо-никелевого электролита-суспензии (ЭС) с содержанием дисперсной фазы электрокорунда белого (марок М2 – М40) в специальной ванне объемом 5 л (рис. 1). Скорость потока ЭС устанавливали на основании рекомендаций [2]. Поток ЭС в рабочую часть ванны поступал через перфорированное дно-успокоитель. Для контроля скорости потока в отдельной секции был разработан и установлен расходомер с дифференциальным манометром типа Вентури. Содержание порошков в ЭС изменяли от 25 до 150 кг/м³.

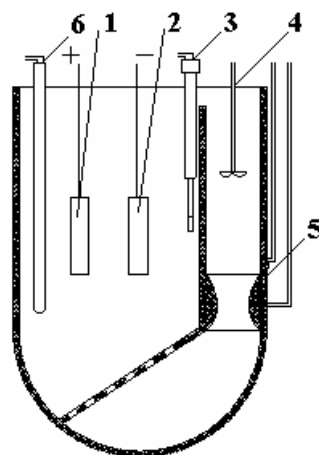


Рис. 1. Ванна с вогнутым дном и перфорированной перегородкой для нанесения КЭП. 1 – анод; 2 – катод; 3 – термометр; 4 – мешалка; 5 – расходомер Вентури; 6 – контактный нагреватель

Микротвердость покрытий определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 по ГОСТу 9450-76. Исследования покрытий на абразивное изнашивание при трении о нежесткозакрепленные абразивные частицы проводились в соответствии с ГОСТом 23.208-79 на специально разработанной лабораторной установке (рис. 2).

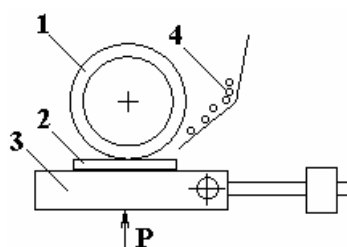


Рис. 2. Схема установки для испытания образцов на абразивную износостойкость. 1 – резиновый ролик; 2 – образец; 3 – держатель; 4 – абразив

Электрохимические покрытия толщиной $0,5 \pm 0,1$ мм наносили на пластины из стали Ст3 (длинной 30 мм, шириной 30 мм, толщиной 1 мм). Усилие прижатия P образца к резиновому ролику изменяли в пределах от 20 до 88 Н, обороты ролика – от 60 до 325 об/мин, что соответствует изменению относительной скорости скольжения $V_{от}$ от 0,3 до 0,9 м/с. Время испытаний определялось необходимостью получения ощутимой величины износа J (мг), который измеряли весовым методом с погрешностью 0,05 мг.

В качестве абразивного материала использовали речной песок с размером зерен не более 1 мм. Эталонами сравнения служили образцы стали 65Г закаленной, наиболее часто применяемой для изготовления режущих частей почвообрабатывающего оборудования, «чистого» железо-никелевого и железо-кобальтового покрытий.

Результаты исследований

Исследования показали, что абразивная износостойкость железо-никелевой основы в условиях, приближенных к реальным, зависит от параметров электролиза. При регрессионном анализе факторных экспериментов получено эмпирическое соотношение, адекватно описывающее зависимость износа электролитических сплавов от параметров электролиза. После исключения незначимых коэффициентов уравнение приняло вид (температура, °C – X_1 ; плотность тока, А/дм² – X_2 ; pH-раствора – X_3 :

$$J_{Fe-Ni} = 8,8 + 0,95X_1 - 0,6X_3 + 0,69X_3^2 + 0,5X_1X_2 + 0,94X_1X_3 + 0,66X_2X_3.$$

Снижение температуры приводило к повышению износостойкости покрытий, оптимальное значение pH раствора находится в центре плана эксперимента (рис. 3, а, в). Износостойкость сплавов

при повышении плотности тока увеличивалась и проходила через максимум при 35–40 А/дм² (рис. 3,б).

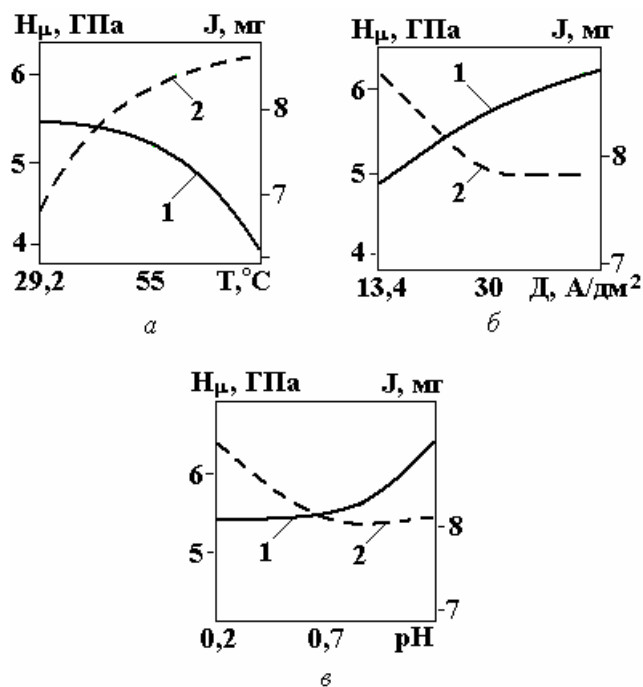


Рис. 3. Влияние режимов электролиза (а,б,в) на микротвердость (1) и износ (2)

Таким образом, оптимальный режим получения износостойких железо-никелевых осадков без включений соответствует: рН раствора – 0,7–1,0; Д – 35–40 А/дм²; Т – 40–45°С. Соблюдение рекомендуемых условий осаждения сплавов позволяет получать сплавы износостойкостью в 1,5–2 раза большей по сравнению со сталью серийного лемеха [7].

При изучении влияния содержания и размера ДФ на износ покрытий было установлено, что твердые частицы электрокорунда белого позволяют повысить износостойкость КЭП при абразивном изнашивании в 4–5 раз по сравнению с «чистыми» железо-никелевыми покрытиями и в 8–10 раз по сравнению со сталью 65Г закаленной. Наивысшей износостойкостью обладают КЭП с объемным содержанием ДФ до 26–28% (об.), осажденные из ЭС, который содержит микропорошок оксида алюминия марки М14 в количестве 80–90 кг/м³ (рис. 4).

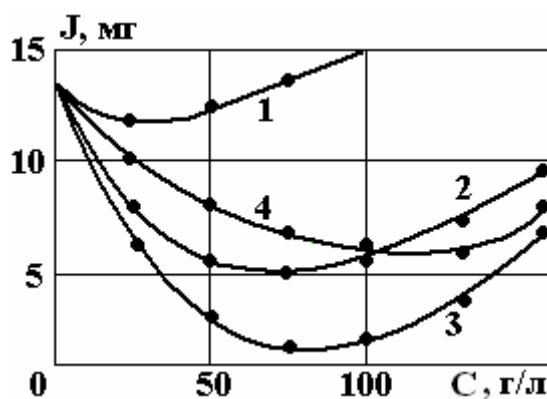


Рис. 4. Влияние содержания частиц в электролите на скорость изнашивания осадков железо-электрокорунд в контакте с незакрепленным абразивом: 1 – М2; 2 – М10; 3 – М14; 4 – М20

В условиях службы рабочих органов почвообрабатывающей техники изнашивание чаще всего происходит в результате многократного пластического деформирования-передеформирования поверхностных микрообъемов поверхности материала перекатывающимися абразивными зернами. Известно, что при изменении скорости скольжения и усилия прижатия трущихся поверхностей проис-

ходит изменение характера взаимодействия поверхности трения с абразивом от перекатывания частиц к скольжению и микрорезанию [8].

Анализ результатов испытаний показал, что с ростом нагрузки и скорости относительного скольжения пары трения скорость изнашивания I (мг/мин) эталонов и образцов, покрытых КЭП, возрастала (рис. 5). Причем износ образцов железо-никелевым покрытием и эталона стали 65Г закаленной возрастал больше, чем КЭП. Скорость изнашивания композиции увеличивалась линейно нагрузке, оставаясь в 4 раза меньше, чем покрытий без ДФ, и в 8 раз меньше, чем эталон стали 65Г закаленной. Наибольшее влияние на износостойкость КЭП оказывала относительная скорость скольжения, с увеличением которой от 0,3 до 0,9 м/с она изменялась в 1,5 раза и при $V_{от}$, равной 0,9 м/с, была в 12 раз большей эталона из стали 65Г закаленной.

Высокую износостойкость КЭП при ужесточении условий работы можно объяснить тем, что в условиях смешанных процессов изнашивания твердая фаза оказывает большое сопротивление деформациям и изнашиванию, а также тем, что с включением частиц прочность связки растет, хотя уровень ее внутренних напряжений остается относительно высоким. При увеличении нагрузки и скорости скольжения увеличивается составляющая микрорезания и оттеснения частицами абразива поверхности покрытия. Частицы наполнителя выступают в качестве площадок контакта и барьеров при прямом разрушении поверхности, распределяя напряжения и переводя процесс разрушения в сторону полидеформационного. Это обстоятельство приводит к значительному росту относительной износостойкости КЭП в сравнении с покрытиями без ДФ.

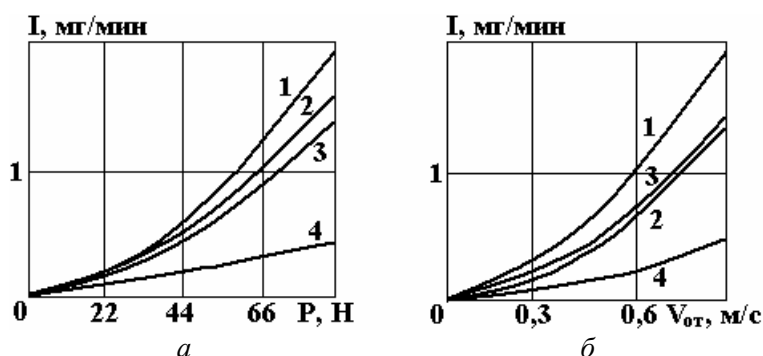


Рис. 5. Влияние нагрузки (а) и скорости относительного скольжения пары трения (б) на скорость изнашивания I эталонов и образца с КЭП. 1 – сталь 65Г закаленная; 2 – железо-никель; 3 – железо-кобальт; 4 – железо-никель электрокорунд М10

Эксплуатационные испытания лемехов, упрочненных КЭП в полевых условиях, показали, что их износостойкость в 1,5–2 раза выше износостойкости серийных лемехов [7]. Железо-никелевые, железо-кобальтовые покрытия и КЭП на их основе показали высокую эффективность при восстановлении и повышении износостойкости зубьев экскаваторов, золотников гидрораспределителей, дисков фрикционных К-700, поршневых пальцев и корпусов толкателей дизелей 10Д100 и Д50.

Выводы

Установлены условия получения КЭП на основе сплавов железа с включением электрокорунда белого в качестве наполнителя, обладающих повышенной износостойкостью в условиях абразивного изнашивания. Введение твердых частиц марки М14 в растворе 80–90 кг/м³ (в покрытии 26–28% об.) в сплавы электролитического железа позволяет повысить их абразивную износостойкость в 8–10 раз по сравнению с закаленными легированными сталями и 4–5 раз по сравнению с покрытиями без ДФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфулин Р.С. Неорганические композиционные материалы М.: Химия, 1983. 304 с.
2. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. Кишинев: Штиинца, 1986. 240 с.
3. Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями. М.: Машиностроение, 1982. 141 с.
4. Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. М.: Янус-К, 1997. 384 с.
5. Вячеславов П.М. Электролитическое осаждение сплавов. Л.: Машиностроение, 1977. 96 с.

6. *Колемаев В.А.* Теория вероятностей и математическая статистика / В.А.Колемаев, О.В.Староверов, В.Б.Турундаевский. М.: Высшая школа, 1991. 400 с.
7. *Кисель Ю.Е.* Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей сельскохозяйственной техники композиционными электрохимическими покрытиями на основе сплавов железа. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Москва. 2001. 18 с.
8. *Тененбаум М.М.* Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.

Поступила 25.08.09

Summary

Based on composite electrochemical coatings effect of content by volume of hard dispersed phase on coefficient of variation of microhardness has been considered. Besides model equation of relationship between content by volume of dispersed phase and coefficient of variation of microhardness has been worked out.
