

УДК 621.351

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ СПЛАВАМИ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

**Г.В. ГУРЬЯНОВ,
Ю.Е. КИСЕЛЬ,**

доктора технических наук,
профессора,
**А.Н. ЛЫСЕНКО,
А.А. ОБОЗОВ,**
аспиранты
ФГБОУ ВО «Брянский
государственный инженерно-
технологический университет»
Т. (4832) 64-69-31
E-mail: YPK2@mail.ru

Исследовано влияние легирующих добавок в электролите и режимов электролиза на микротвердость, прочность сцепления и износостойкость железокобальтовых покрытий. Установлены условия их получения, позволяющие значительно повысить износостойкость покрытий при абразивном изнашивании. Технологический процесс получения износостойких покрытий апробирован на примере повышения долговечности зубьев мульчерных установок и рекомендован к внедрению.

Ключевые слова: электрохимические покрытия; износостойкость; микротвердость; сельскохозяйственная техника.

Перспективные методы восстановления и повышения износостойкости деталей сельскохозяйственной техники – нанесение электрохимических железных покрытий, легированных кобальтом [1–7]. Опыт применения показывает их преимущество в сравнении с покрытиями «чистого» электролитического железа. Введение ионов кобальта повышает микротвердость, прочность, износостойкость, изменяет верхний предел области, соответствующей электроосаждению прочных бес-

трещиноватых осадков. Вместе с тем сведения о работоспособности покрытия в условиях абразивного изнашивания ограничены. Для разработки технологического процесса повышения долговечности быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающей техники необходимо установить условия получения наиболее износостойких сплавов и изучить их работоспособность в условиях, приближенных к реальным.

Поэтому мы исследовали влияние состава и условий получения электрохимических покрытий на основе железокобальтового сплава на их работоспособность в условиях абразивного изнашивания.

Для изучения влияния легирующих добавок и параметров электролиза на свойства и абразивную износостойкость покрытий применяли центральное ротатбельное униформпланирование второго порядка при $k=3$ [1]. В качестве базового электролита железнения использовали раствор $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 500 г/л. Железокобальтовые осадки получали из электролита состава, кг/м³: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 500; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 100, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 80. Анионный состав поддерживали постоянным за счет применения солей кобальта и алюминия с анионами SO_4^{2-} и Cl^- . Интервалы варьирования режимов электролиза: температура электролита (Т) 30–80 °С, плотность тока (Д) от 10–50 А/дм², pH раствора 0,2–1,2.

Анодную обработку проводили в электролите: H_2SO_4 – 300–350 г/м³; $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 20–22 кг/м³ [2].

Прочность сцепления ($\sigma_{\text{сц}}$, МПа) определяли методом кольцевого среза (рис. 1) [2]. Микротвер-

дость покрытий определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76. Исследования покрытий на абразивное изнашивание проводили в соответствии с ГОСТ 23.208-79. Электрохимические покрытия толщиной $0,5 \pm 0,1$ мм наносили на пластины из стали Ст3 (длина 30 мм, ширина 30 мм, толщина 1 мм). Усилие прижатия (Р) образца к резиновому ролику изменяли от 20 до 88 Н, частота вращения ролика – 60–325 мин⁻¹ (относительная скорость $V_{\text{от}}$ скольжения 0,3–0,9 м/с). Время испытаний определяли необходимостью получения ощутимого износа (J, мг) весовым методом с погрешностью 0,05 мг. В качестве абразивного материала использовали речной песок (размер зерен не более 1 мм). Эталоны сравнения служили образцы стали 65Г закаленной и стали 35 нормализованной.

Исследования показали, что прочность сцепления железокобальтового покрытия зависела от содержания ионов легирующих добавок в электролите (Co^{2+} – X_1 , Al^{3+} – X_2 , SO_4^{2-} – X_3):

$$\sigma_{\text{сц}} = 428,2 + 23,6\text{X}_1 + 13,2\text{X}_2 - 19,5\text{X}_3 + 7,3\text{X}_1^2 - 8,6\text{X}_2^2 - 8,5\text{X}_3^2 + 5,2\text{X}_1\text{X}_2$$

Графический анализ уравнения показал, что прочность сцепления железокобальтовых покрытий зависит от изменения содержания ионов легирующих добавок в электролитах и изменяется от 300 до 500 МПа. С увеличением содержания ионов кобальта в электролите сцепление осадков с основой повышается (рис. 2, а). Влияние ионов алюминия в рамках условий проведения эксперимента незначительно (рис. 2, в). Содержание ионов SO_4^{2-} до некоторых пределов благоприятно

сказывается на прочности сцепления (рис. 2, д).

Изменение концентрации легирующих элементов и добавок, наряду с прочностью сцепления, заметно влияет на механические свойства покрытий. Так, при введении серноокислого кобальта их микротвердость повышалась до 6,8–7,2 ГПа. Серноокислый алюминий незначительно влиял на микротвердость покрытий.

Микроструктура покрытий также претерпевала изменения. Образовалась сетка субмикротрещин, не доходящих до основания, что способствовало повышению прочности сцепления и износостойкости покрытий.

Область оптимальной концентрации компонентов железокобальтового электролита, обеспечивающих прочность сцепления порядка 400–450 МПа и микротвердость 6,0–7,0 ГПа, находится вблизи нулевого уровня плана эксперимента. Для получения таких покрытий можно рекомендовать электролит следующего состава, кг/м: железо хлористое 500–550; кобальт серноокислый 100–110; алюминий серноокислый 80–100.

Так как износостойкость зависит от режимов нанесения покрытий, исследовали зависимости износа железокобальтовых покрытий от плотности тока, температуры и pH электролита. 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_4 ; плотность тока, А/дм² – X_5 ; pH раствора – X_6):

$$J_{Fe-Co} = 8,8 + 0,95X_4 - 0,6X_5 + 0,69X_6^2 + 0,5X_4X_5 + 0,94X_4X_6 + 0,66X_5X_6.$$

Снижение температуры приводило к повышению износостойкости покрытий. Оптимальное значение pH раствора находилось в центре плана эксперимента (рис. 2, б и е). Износостойкость сплавов при повышении плотности тока увеличивалась и проходила через максимум при 35–40 А/дм² (рис. 2, е). Таким образом, оптимальный режим получения прочносцепленных износостойких железокобальтовых осадков: pH раствора 0,7–1,0; $D_k=35-40$ А/дм²; $T=40-45$ °C. Соблюдение рекомендуемых режимов позволяет получать сплавы с износостойкостью в 2–3 раза большей по сравнению со сталью 65Г закаленной (серийный лемех) и в 8–10 раз, чем со сталью 35 нормализованной.

Результаты лабораторных исследований использовали для разработки типового технологического процесса повышения

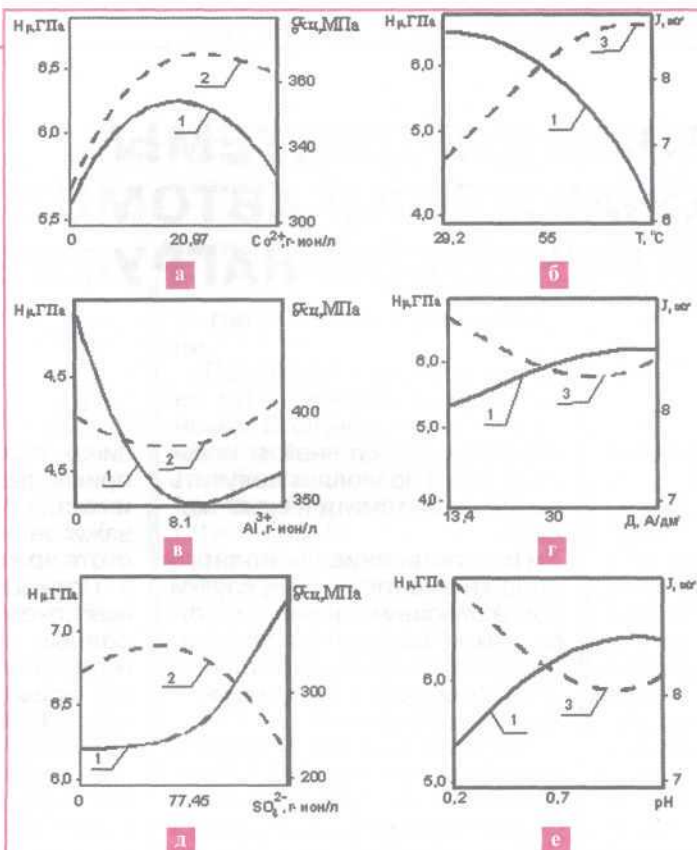


Рис. 2. Влияние состава электролита (а, в, д) и режимов электролиза (б, г, е) на прочность сцепления (1), микротвердость (2) и износ (3) железокобальтовых покрытий

долговечности деталей почвообрабатывающих машин железокобальтовыми сплавами, апробацию которого выполняли на примере зубьев мульчерных установок (рис. 3).

Анализ изношенных зубьев мульчерных установок показал, что наибольшему износу подвержен корпус зуба (сталь 35 нормализованная) в зоне крепления твердосплавного наконечника (сплав Т15К6).

Таким образом, долговечность зуба мульчера ограничена предельным износом корпуса, при достижении которого происходит отрыв твердосплавного наконечника.

С целью выбора рационального способа нанесения покрытия на зубья осадки наносили по различным схемам (рис. 4).

При апробации технологии создана опытная установка по упрочнению деталей в лаборатории гальванических покрытий Брянского ГИТУ, откорректированы форма и размеры защитных экранов, разработаны подвесные приспособления для нанесения износостойких сплавов (рис. 5).



Рис. 5. Опытная установка для нанесения железокобальтовых сплавов на зубья мульчера

Для полевых испытаний изготовили партию зубьев с железокобальтовыми сплавами.

Окончание на стр. 40

бальтовым покрытием толщиной 0,4-0,5 мм.

Эксплуатационные испытания зубьев с покрытиями проводили на мульчерной установке (рис. 6) производства ОАО «Брянсксельмаш» при обработке полей в хозяйствах АПХ «МИРАТОРГ» Брянской области. Результаты полевых испытаний в основном подтвердили данные лабораторных исследований.

Разработанный технологический процесс нанесения электрохимических сплавов имеет ряд технических преимуществ в сравнении с применяемыми методами восстановления деталей машин. Для его выполнения используют легкодоступные и сравнительно недорогие материалы. Для организации участка применяют стандартное оборудование. В отличие от наплавки, где каждая деталь упрочняется отдельно, электрохимические сплавы осаждают одновременно на партию деталей. В процессе электролиза можно регулировать толщину покрытия, а высокая равномерность осадков исключает механическую обработку. Целесообразность внедрения технологии повышения долговечности деталей машин на ремонтных

предприятиях подтверждена расчетами экономической эффективности, которые позволили установить, что затраты на материалы и электроэнергию снизятся в 3-4 раза в сравнении с наплавкой износостойких сплавов [2].

Установлены условия получения прочносцеplенных железобальтовых покрытий, обладающих повышенной до 2-3 раз износостойкостью по сравнению с закаленными легированными сталями.

Апробация технологического процесса нанесения сплава на быстроизнашиваемые детали сельскохозяйственной техники на примере повышения долговечности зубьев мульчеров показала его высокую эффективность и целесообразность практического применения.

Литература

1. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов / М.И. Юдин. - Краснодар: КГАУ, 2004. - 239 с.
2. Гурьянов, Г.В. Электрохимические сплавы и композиты на основе железа / Г.В. Гурьянов, Ю.Е. Кисель. - Брянск: Изд-во БГИТА, 2015. - 98 с.
3. Гурьянов, Г.В. Антифрикционные и износостойкие электрохимические покрытия / Г.В. Гурьянов, Ю.Е. Кисель. - Брянск: Изд-во БГИТА, 2006. - 121 с.

4. Кисель, Ю.Е. Повышение износостойкости деталей машин композиционными электрохимическими покрытиями / Ю.Е. Кисель, Г.В. Гурьянов, П.Е. Кисель // Тракторы и сельхозмашины. - 2009. - № 10.

5. Сафонов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники с применением новых материалов / В.В. Сафонов [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2012. - № 8.

6. Сафонов, В.В. Наномодифицированные химические покрытия с улучшенными физико-механическими свойствами / В.В. Сафонов, С.А. Шишурин, В.С. Семочкин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - 2014. - № 3.

7. Серебровский, В.В. Электроосаждение железоборидных покрытий / В.В. Серебровский [и др.] // Электрика. - 2015. - № 11.

8. Серебровский, В.В. Упрочнение электроосажденных покрытий цианированием / В.В. Серебровский [и др.] // Электрика. - 2015. - № 11.

The influence of electrolyze modes on a microhardness, durability of coupling and wear resistance of iron-cobalt coverings is studied. The structure of electrochemical coverings, providing the greatest abrasive firmness is optimized. Its shown expediency application of coverings for increase durability of details of agricultural machinery.

Keywords: electrochemical coatings; resistance increase; microhardness; agricultural machinery.

Результаты расчетов приведены в **таблице**.

Они показали, что полная мощность, рассчитанная через действующие значения тока и напряжения и через составляющие полной мощности, отличается не более чем на 0,15 %. Данные результаты позволяют утверждать о возможности применения схем замещения потребителей с параметрическим характером, определенных через составляющие полного сопротивления, для анализа режимов работы системы электроснабжения автомобиля.

Литература

1. Дорожко, СВ. Определение режимов работы систем электроснабжения автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин / С.В. Дорожко, Р.В. Грибоедов // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2002. - С.117-121.
2. Дорожко, СВ. Модернизация и исследование режимов работы автомобильного стенда СА 6.1 / СВ. Дорожко, А.Н. Дубков // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь: АГРУС, 2011. - С.81-85.
3. Агунов, М.В. Представление составляющих электрического сопротивления для моделей нелинейных

нагрузок / М.В. Агунов // Электричество. - 2004. - №4. - С. 48-50.

4. Шевцов, А.А. Моделирование процессов в бортовой автомобильной сети / А.А. Шевцов, А.А. Шильнов // Электротехника. - 2010. - № 10. - С. 53-58.

The laboratory test approach to calculating the components of the total resistance of consumers equivalent circuits with parametric nature. A variant of the use of equivalent circuits of consumers to analyze the modes of operation of the vehicle electrical system.

Keywords: modeling; nonlinear load impedance components.