

УДК 631.3.031

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ В ПОТОКЕ ЭЛЕКТРОЛИТА

Ю.Е. КИСЕЛЬ,

доктор технических наук, профессор,

С.П. СИМОХИН,

старший преподаватель,

С.А. МУРАЧЕВ,

аспирант

ФГБОУ ВО «Брянский государственный

инженерно-технологический

университет»

E-mail: Simonin77@mail.ru

Изучено влияние режимов электролиза и состава электролита железнения в потоке электролита на прочность сцепления, микротвердость и износостойкость покрытий. Установлены оптимальный состав электролита железнения и структура покрытий, обеспечивающие наибольшую абразивную износостойкость. Показана целесообразность применения железнения в потоке электролита для восстановления золотников гидрораспределителей.

Ключевые слова: прочность сцепления; микротвердость; износостойкость; технологический процесс; ячейка.

Для интенсификации электролитического железнения, расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей сельскохозяйственной техники и одновременного упрощения технологического процесса наращивания металла разработан безваннный метод нанесения покрытий в проточном электролите [1–5]. Вместо погружения всей детали в электролит рабочий раствор подается насосом к месту нанесения покрытий. В этом случае отпадает необходимость применять ванны больших размеров, изолировать поверхность, не подлежащие покрытию, применять подвесные устройства.

Нанесение железных осадков в потоке электролита с одновременным гидромеханическим активированием наращиваемой поверхности (за счет воздействия ско-

ростных гетерофазных потоков с грубодисперсными твердыми частицами) позволяет значительно повысить производительность процесса. При железнении таким способом с увеличением интенсивности перемешивания величина диффузионного пограничного слоя уменьшается, а количество диффундирующего вещества (ионы железа) возрастает.

Цель нашей работы – разработка технологии восстановления деталей безванновым способом в потоке электролита.

Влияние добавок и параметров электролиза на прочность сцепления покрытий изучали с применением центрального ротатбельного униформпланирования второго порядка при $k = 3$. Результаты эксперимента обрабатывали по стандартной методике [6, 7].

Покрытия получали из хлористого электролита-сuspензии (ЭС) железнения ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 500 \pm 10 \text{ кг/м}^3$) при режимах электролиза: pH – $0,5 \pm 0,1$; температура ЭС (Т) – $40 \pm 2^\circ\text{C}$; скорость потока электролита (v) – $1-9 \text{ м/с}$; содержание частиц электрокорунда белого в ЭС (марки F100) – $0-150 \text{ г/л}$; катодная плотность тока (D_k) – $100-500 \text{ А/дм}^2$. После нанесения покрытия образцы нейтрализовали и стабилизировали в течение 10 сут.

Установка для нанесения покрытия на образцы включала электролизер, источник тока, термо-

стат, приборы для регулирования и контроля параметров электролиза (рис. 1).

Источником тока служил выпрямитель типа ВСА-50. Раствор в ванне железнения (объем 15 л) подогревался и стабилизировался по температуре с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$ с помощью термостата. Кислотность электролита контролировали ионометром ЭВ-74.

Прочность сцепления определяли методом кольцевого сдвига [8, 9] на цилиндрических образцах из стали 35 (длина 60 мм, диаметр 12 мм, толщина покрытия $0,5 \times 0,1 \text{ мм}$), которые получали в электрохимической ячейке (рис. 2).

Исследования покрытий на абразивное изнашивание проводили в соответствии с ГОСТ

Рис. 1. Экспериментальная установка для нанесения покрытий на образцы: 1 – основание; 2 – мотор-насос; 3 – ванна ($0,01 \text{ м}^3$); 4 – всасывающий трубопровод; 5 – подающий трубопровод; 6 – кран регулировочный; 7 – диск со шкалой; 8 – ячейка; 9 – клемма питания анода; 10 – клемма питания катода; 11 – кран сливной; 12 – термометр; 13 – контактный нагреватель; 14 – уровень электролита

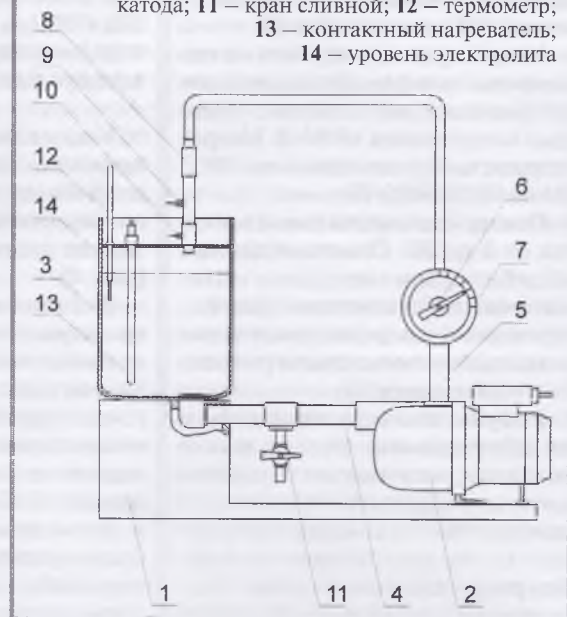




Рис. 2. Общий вид (а) и схема (б) ячейки для нанесения осадков на образцы при исследовании их прочности сцепления с основой: 1 – анод; 2 – образец; 3 – катод



Рис. 3. Ячейка (а) и схема (б) для нанесения покрытий на образцы при исследовании их износостойкости: 1 – корпус; 2 – электрод; 3 – образец

23.208-79. Электрохимические покрытия толщиной 0,3–0,5 мм наносили на пластины из стали 35 с размерами 30x30x1 мм в электрохимической ячейке (рис. 3). Время испытаний образцов определялось необходимостью получения ощутимого износа (J , мг), который определяли весовым методом с погрешностью $5 \cdot 10^{-8}$ кг. В качестве абразивного материала использовали речной песок с размером зерен не более 1 мм. Эталоном сравнения служили образцы из сталей 65Г закаленной и 35.

Микроструктуру изучали на поперечных шлифах образцов после механических испытаний с помощью микроскопов МИМ-8. Микротвердость (H_v) измеряли на ПМТ-3М по ГОСТ 9450-76.

Повторность испытаний в опытах от 3 до 20. Опытные данные обрабатывали методами математической статистики. Для построения функциональных зависимостей использовали регрессионный анализ [6].

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования показали, что микротвердость, прочность сцепления с основой и износостойкость покрытий зависели от параметров электролиза. При регрессионном анализе трехфакторного эксперимента получе-

ны эмпирические зависимости прочности сцепления и износа покрытий от параметров процесса электролиза (скорость потока электролита – X_1 ; плотность тока, А/дм² – X_2 ; содержание частиц – X_3):

$$\sigma_{\text{сц}} = 219,1 + X_1 + 17,3X_2 - 18,6X_3 + 2,3X_1^2 + 1,2X_2^2 + 0,3X_3^2 + 3,0X_1X_2 - 1,3X_1X_3 + 1,3X_2X_3,$$

$$J = 10,6 - 1,5X_1 - 2,5X_2 + 0,9X_3 + 1,9X_1^2 + 0,5X_2^2 + 0,6X_3^2 + 2,9X_1X_2 - 1,8X_1X_3 - 6,0X_2X_3.$$

Анализ результатов исследований показал, что наибольшее влияние на прочность сцепления и износостойкость покрытий оказывала плотность катодного тока (рис. 4).

Это влияние наиболее заметно при изучении свойств осадков, полученных при режимах электролиза, соответствующих «звездным» точкам плана эксперимента. Увеличение катодной плотности тока приводило к снижению прочности сцепления с 240–250 до 120–150 МПа и увеличению износа покрытий. Осадки, полученные при высоких плотностях тока из скоростного потока и низком содержании частиц,

имели наименьшую прочность сцепления (140–150 МПа) и износостойкость, которые обусловлены их низким качеством и высокими внутренними напряжениями. Их структура характеризовалась сеткой сквозных трещин, разделяющих осадок на крупные блоки. Это может быть результатом действия интенсивно выделяющегося водорода и накопившихся в прикатодной зоне чужеродных частиц, которые гидроабразивный поток не в полной мере удалял с поверхности катода. Хотя покрытия имели высокую микротвердость, они не обладали высокой износостойкостью, поскольку при их деформировании в процессе нагружения происходит развитие готовых очагов разрушения.

Увеличение содержания частиц электрокорунда в электролите приводило к увеличению прочности сцепления и износостойкости покрытий. Введение в электролит абразивных частиц способствовало получению монолитных осадков или структуры с мелкой сеткой микротрещин. Вероятно, это обусловлено повышением эффективности

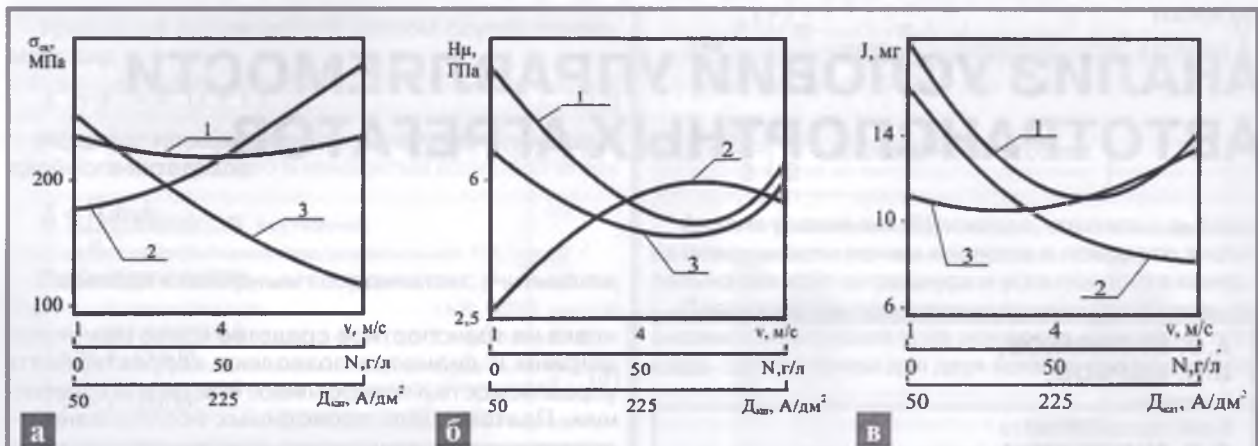


Рис. 4. Влияние параметров электролиза на прочность сцепления покрытия с основой (а), микротвердость (б) и износ (в): 1 – скорость потока электролита-суспензии; 2 – содержание дисперсных частиц; 3 – катодная плотность тока

перемешивания прикатодного слоя и снижения перенапряжения при выделении осадка на катоде, очисткой поверхности катода от выделяющегося водорода и чужеродных частиц. Можно отметить, что структура электролитического железа, полученного в условиях гидромеханического активирования с увеличением скорости потока электролита-суспензии более 3–4 м/с при постоянных остальных условиях электролиза, отличалась отсутствием обычной слоистости, наблюдаемой у покрытий, получаемых при стационарных условиях электролиза. Таким образом, нестационарные режимы электроосаждения, обеспечивающие получение осадков с микротвердостью выше 3,5–4,0 ГПа, являются границей раздела области получения трещиноватых разупрочненных покрытий.

Увеличение содержания наполнителя в ЭС до 80–120 кг/м³ привело к формированию структуры покрытий с густой сеткой микротрещин, что способствовало увеличению износостойкости покрытий и прочности сцепления их с основой до 260–280 МПа. При изломе покрытия не отделялись от подложки. Подобное изменение механических свойств покрытия можно попытаться объяснить изменением их внутренних напряжений растяжения, которые с увеличением микропористости покрытий частично «снимаются» [5]. Та-

кая структура, обладая низким уровнем остаточных внутренних напряжений вследствие более глубокого разрушения покрытий в процессе электролиза, приводила к увеличению микротвердости и износостойкости осадков.

Таким образом, для получения прочносцепленных и износостойких покрытий, имеющих высокую микротвердость (4–5 ГПа), оптимальную микроструктуру и высокую скорость роста осадков (1,5–3 мм/ч), необходимо поддерживать наиболее благоприятные состав и режимы электролиза: скорость потока ЭС – 3–4 м/с, содержание частиц в ЭС – 80–120 г/л, $D_{кат}$ – 150–300 А/дм². Соблюдение рекомендуемых режимов электролиза позволяет получать покрытия с износостойкостью в 1,5–2 раз большей по сравнению со сталью 65Г закаленной (серийный лемех) и в 3–5 раз со сталью 35 нормализованной.

Литература

1. Юдин, В.М. Восстановление посадочных отверстий корпусных деталей гальваническими покрытиями / В.М. Юдин, М.Н. Вихарев, Д.Б. Слинко // Технический сервис машин. – 2019. – № 4 (137). – С. 152–159.
2. Спицын, И.А. Восстановление чугуновых деталей сельскохозяйственной техники гальваническим цинкованием с механической активацией катодной поверхности / И.А. Спицын, В.М. Юдин, Ю.А. Захаров, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 9 (279). – С. 38–42.

3. Курчаткин В.В. / В.В. Курчаткин, В.М. Татаркин, А.Н. Батищев, И.Г. Голубев // Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. – Academia. – 2013. – 464 с.

4. Технология ремонта машин / Под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с.

5. Гурьянов, Г.В. Электроосаждение износостойких композиций / Г.В. Гурьянов. – Кишинев: Штиинца, 1986. – 240 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. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов / М.И. Юдин. – Краснодар: КГАУ, 2004. – 239 с.

8. Кисель, Ю.Е. Повышение долговечности деталей сельскохозяйственной техники электротермической обработкой композиционных электрохимических покрытий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю.Е. Кисель. – Саратов, 2014. – 37 с.

9. Гурьянов, Г.В. Износостойкие электрохимические сплавы и композиты на основе железа / Г.В. Гурьянов, Ю.Е. Кисель. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2015. – 98 с.

The influence of the electrolysis modes and the composition of the ferruginous electrolyte in the electrolyte flow on the adhesion strength, microhardness and wear resistance of coatings is studied. The optimal composition of the ferruginous electrolyte and the structure of the coatings that provide the greatest abrasive wear resistance are established. The expediency of using ferruginization in the electrolyte flow to restore the spool valves of hydraulic valves is shown.

Keywords: adhesion strength; microhardness; wear resistance; technological process; cell.