

ПРИМЕНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА ПРИ ОСАЖДЕНИИ СПЛАВА ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТ

Совершенствование методов получения наноструктурированных систем на основе переходных металлов является одной из актуальных проблем материаловедения в связи с расширяющейся областью их практического применения. Материалы из сплавов железо-кобальт используются в областях, связанных с электронными и магнитными устройствами [1]. Также находят применение как катализаторы [2] или коррозионностойкие материалы [3]. В связи с современными требованиями к эффективности и экологичности гальванических технологий представляет интерес использование импульсных режимов электролиза для получения функциональных материалов [4,5]. Целью настоящей работы было исследовать влияние параметров электролиза на формирование сплава железо-кобальт из кислого глицинатного раствора.

Рабочий раствор содержал сульфат железа (II) 0,35 М, сульфат кобальта (II) 0,15 М, хлорид калия, глицин, борную кислоту. Величина $pH = 2,85 \pm 0,05$ исследуемых растворов измерялась иономером И-160МП. В качестве рабочего электрода использовали сталь 08КП, латунь Л63. Электрохимические исследования выполнены на потенциостате Р-150. Осадки Fe-Co получали толщиной 10 ± 1 мкм. Состав электроосажденного сплава определяли рентгенофлуоресцентным методом с помощью портативного анализатора X-MET 7500 с точностью $\pm 0,005\%$. Для определения выхода по току (ВТ) электроды взвешивались до и после осаждения покрытия на весах Pioneer PA64C с точностью до 0,0001 г. Микротвердость измеряли с помощью ПМТ-3.

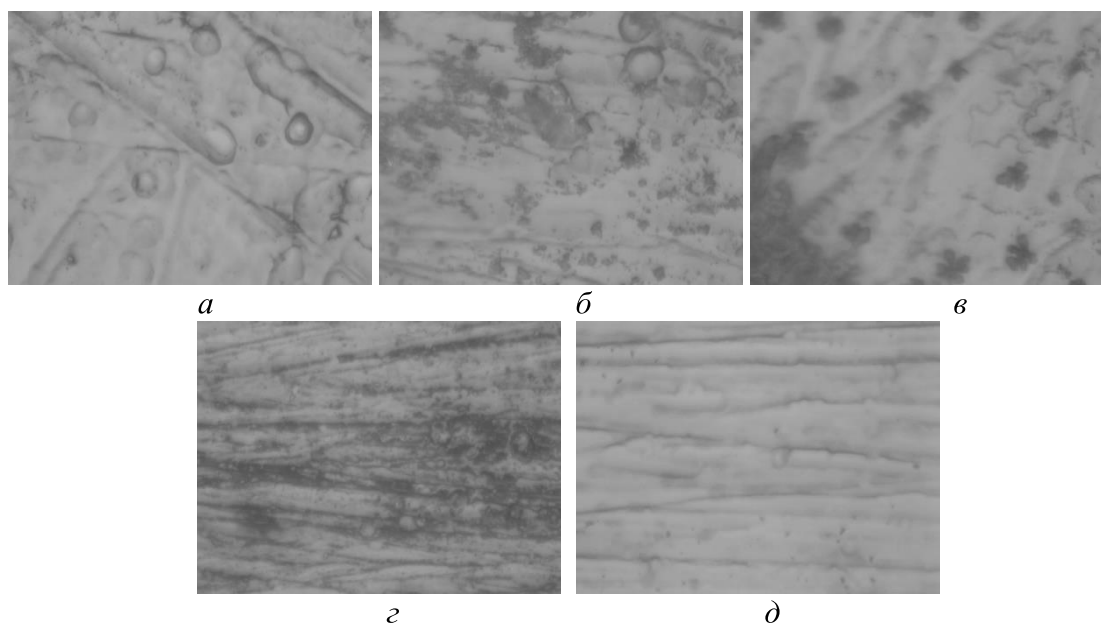
При осаждении покрытия в стационарном режиме электролиза был сформирован сплав Fe-Co с преимущественным содержанием в своем составе железа (табл.1). Побочная реакция выделения водорода оказала влияние как на морфологию покрытия (рис.1а), так и на эффективность электроосаждения: ВТ = $\sim 65\%$. Величина микротвердости (HV) покрытия составила ~ 220 кг/мм², что значительно превышает HV стальной основы (~ 85 кг/мм²).

В работе изучали влияние наложения импульсов анодного тока (τ_A) на формирование и свойства покрытий Fe-Co. Применение полупериодов анодного тока и повышение его величины способствовало

увеличению содержания в сплавах кобальта (табл.). Выход по току (ВТ) осадков незначительно уменьшался при наложении τ_A и повышении анодного тока, соответственно. Реверсивный режим формирования значимо не повлиял на значение HV покрытий. Однородность поверхности образцов сплавов снизилась. На поверхности осадков были отмечены микроуглубления, появившиеся, видимо, вследствие селективного подрастворения сплава Fe-Co (рис.1б,в).

Таблица – Влияние режима электролиза на свойства сплавов Fe-Co

Режим	Состав, %		ВТ, %	HV, кг/мм ²
	Fe	Co		
$i_K 15 \text{ мА/см}^2$	78,8	21,2	65,4	222
$i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с},$ $i_A 5 \text{ мА/см}^2 \tau_A 1 \text{ с}$	76,8	23,2	64,9	219
$i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с},$ $i_A 10 \text{ мА/см}^2 \tau_A 1 \text{ с}$	73,3	26,7	59,1	221
$i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с}, i_A 0 \tau_{\Pi} 1 \text{ с}$	77,2	22,8	68,2	205
$i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с}, i_A 0 \tau_{\Pi} 0,1 \text{ с}$	78,3	21,7	71,6	209



$a - i_K 15 \text{ мА/см}^2$; $б - i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с}, i_A 5 \text{ мА/см}^2 \tau_A 1 \text{ с}$;
 $в - i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с}, i_A 10 \text{ мА/см}^2 \tau_A 1 \text{ с}$; $г - i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_K 12 \text{ с}, i_A 0 \tau_A 1 \text{ с}$;
 $д - i_K 15 \text{ мА/см}^2 \tau_{\Pi} 12 \text{ с}, i_A 0 \tau_{\Pi} 0,1 \text{ с}$

Рисунок 1 – Влияние режима электролиза на морфологию осадка Fe-Co, увеличение 1000 крат

Было проведено исследование влияния бестокового полупериода (τ_{Π}) на восстановление состава приэлектродного слоя раствора и осаждение сплава Fe-Co. Количество кобальта в сплаве при формировании в импульсном режиме повышалось менее значимо, чем в реверсивном режиме осаждения (табл.). При длительности полупериодов

тока (τ_K) менее 8 с ВТ образцов превышал 100 %, что может быть связано с включением в гальванический осадок компонентов приэлектродного слоя раствора. При длительности τ_K более 10 с ВТ осадков незначительно превышал значение ВТ образцов, полученных в стационарном режиме электролиза. Формировались менее твердые (табл.) и более равномерные покрытия (рис.12,д) по сравнению со стационарным и реверсивным режимом электролиза.

Полученные образцы гальванических покрытий были исследованы на коррозионную стойкость (K_m) в 3%-ном растворе NaCl в течение суток. Формирование покрытий как в реверсивном, так и в импульсном режиме осаждения позволило незначительно повысить K_m образцов до $0,20 \pm 0,02 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ по сравнению с $K_m = 0,24 \pm 0,02 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ покрытий, осаждённых в стационарном режиме электролиза.

Таким образом, применение нестационарного режима электролиза позволяет повысить качество сплавов Fe-Co. Реверсивный режим способствует повышению содержания кобальта в сплаве. В импульсном режиме электролиза формируется наиболее однородная морфология покрытий сплавом Fe-Co.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rizal C., Kolthammer J., Pokharel R.K., Choi B.C. Magnetic properties of nanostructured Fe-Co alloys // *Journal of Applied Physics*. 2013. V. 113. № 11. 113905.
2. Oliveira F.G.S., Bohn F., Correia A.N., de Lima-Neto P., Vasconcelos I.F. Fe-Co coatings electrodeposited from eutectic mixture of choline chloride-urea: physical characterizations and evaluation as electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction // *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. V. 851. 156330.
3. Sutthiruangwong S., Chansena A. Corrosion behavior of electrodeposited Co-Fe alloys in aerated solutions // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2017. V. 429. P. 251-256.
4. Никитин В.С., Останина Т.Н., Рудой В.М. Модельное описание процесса электроосаждения рыхлых осадков цинка в импульсных режимах потенциала // *Электрохимия*. 2024. Т.60. № 2. С.124-138.
5. Парасотченко Ю.А., Суздальцев А.В., Зайков Ю.П. Стационарное и импульсное электроосаждение кремния в расплаве LiCl-KCl-CsCl-K₂SiF₆ // *Расплавы*. 2024. № 4. С. 377-390.