

бора от 8 до 20 ат.%. Из полученных данных видно, что с увеличением содержания бора в покрытии с аморфно-кристаллической структурой (8–13 ат. % бора) наблюдается резкое уменьшение коэрцитивной силы от 13 до 0,4 Э, что связано с повышением доли аморфной составляющей в покрытии, для которой характерно отсутствие кристаллографической анизотропии и межзеренных границ. Минимальными значениями H_c (0,2 Э) обладают аморфные покрытия Co–B, содержащие 15–20 ат. % бора.

Таким образом, установлено, что комплексом наилучших функциональных свойств, а именно: повышенной микротвердостью (6500 МПа), износостойкостью (скорость износа – 4 мкг/м), коррозионной стойкостью (сопротивление переносу заряда после 500 часов выдерживания в растворе 0,6М NaCl – 655 кОм·см²), низким значением коэрцитивной силы (0,2 Э), характеризуются аморфные покрытия Co–B, содержащие 20 ат. % бора.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Nickel, Cobalt, and Their Alloys: ASM specialty handbook // ASM International Materials Park; Ed. J.R. Davis.—OH 44073, 2000.—420 p.
- 2 S.S. Djokic. // J. Electrochem. Soc.— 1999.—Vol.146.—P.1824-1828.
- 3 T.V. Gaevskaya, I.G. Novotortseva, L.S. Tsybul'skaya. // Metall Finish.—1996.—Vol.94.—P.100-103.
- 4 Л.С. Цыбульская, В.А. Кукареко, Ю.Н. Бекиш, Т.В. Гаевская, А.Г. Кононов. // Журн. прикл. Химии.— 2008.—Т.81.—№9.—С.1479-1483.
- 5 Ю.Н. Бекиш, Т.В. Гаевская, Л.С. Ивашкевич, Л.С. Цыбульская. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.—2007.—№1.—С.36-40.

УДК 544.654.2:546.74

Е.В. Михедова, асп.; В.В. Яскельчик, студ.;
А.А. Черник, доц.; И.М. Жарский, проф.
(БГТУ, Г. Минск)

ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕДИ НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Целью данного исследования являлось изучение путей интенсификации процесса меднения стальных изделий из цитратного электролита.

Покрытия осаждались из электролита следующего состава: CuSO_4 – 100 г/л, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 200 г/л, NaCl – 26 г/л, лимонная кислота – 48 г/л, NaOH до pH 7,5–8,5. Осаждение в импульсном режиме проводилось на потенциостате ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором ПР-8 в стандартной трехэлектродной ячейке ЯСЭ-2. В качестве элект-

трода сравнения применяли насыщенный хлорсеребряный электрод. Диапазон рабочих плотностей тока определяли с помощью угловой ячейки Хулла объемом 250 см³. Выход по току определяли гравиметрически. Пористость медного покрытия определяли в соответствии с ГОСТ 9.302-88. Рассеивающую способность электролита определяли согласно ГОСТ 9.309-86 в щелевой ячейке Моллера с разборным катодом. Исследования по влиянию ультразвука (УЗ) проводили в ультразвуковой гальванической ванне (емкость 3,5 дм³) с донным расположением ультразвуковых излучателей. Частота УЗ колебаний составляла 22 кГц. Микрофотографии образцов выполнены на оптическом микроскопе Leica DFC Camera CD (DFC and DC500 Camera Software) Release Notes V 6.4.1 при увеличении 100× с окуляром 10×.

Результаты измерений в ячейке Хулла позволили выявить изменение диапазона рабочей плотности тока при различных соотношениях длительности импульса и паузы (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты измерений в ячейке Хулла

$\tau_k, \text{мс}$	$\tau_n, \text{мс}$	$i_{\text{раб}}, \text{А/дм}^2$
5	2	1,0–3,5
	5	1,2–5,1
	10	2,0–10,2
10	2	1,7–2,9
	5	1,3–3,9
	10	2,0–6,0
20	2	1,3–3,9
	5	2,0–4,5
	10	3,3–7,0
50	2	2,0–3,9
	5	2,4–3,9
	10	1,7–3,9
100	2	2,0–3,9
	5	1,7–3,9
	10	1,7–4,5

В стационарном режиме этот диапазон составил 1,0–2,2 А/дм².

Как видно из таблицы, максимальная плотность тока достигается при $\tau_k = 5$ мс и $\tau_n = 10$ мс. Верхний предел плотности тока увеличился в 3 раза, а также значительно расширился диапазон рабочих плотностей тока.

При определении выхода по току и пористости осаждение в стационарном режиме проводилось при плотности тока 2 А/дм². При осаждении в импульсном режиме эффективная плотность тока имела значение 2 А/дм².

Из рисунка 1 видно, что наибольшее значение выхода по току меди соответствует длительности паузы в 2 мс. Также явно заметно, что максимальные значения выхода по току достигаются при соотношении $\tau_k : \tau_n = 1 : 2$. Выход по току при осаждении меди в стационарном режиме имеет значение 80,91%.

Покрyтия с минимальной пористостью осаждаются при следующих значениях длительности импульса и паузы соответственно: 50 : 10, 100 : 2, 100 : 5, 100 : 10.

Влияние УЗ на диапазон рабочих плотностей тока исследовали в угловой ячейке Хулла. Выявлено, что наложение ультразвукового поля позволяет расширить диапазон рабочих плотностей тока и увеличить его верхний предел. При электролизе в стационарных условиях диапазон рабочих плотностей тока составил 1,0+2,2 А/дм², а при электролизе с УЗ – 0,8+3,5 А/дм². Таким образом, наложение ультразвукового поля позволяет интенсифицировать процесс осаждения меди в 1,5 раза.

РС как по току, так и по металлу увеличивается при наложении ультразвука. Это обусловлено уменьшением значения поляризации

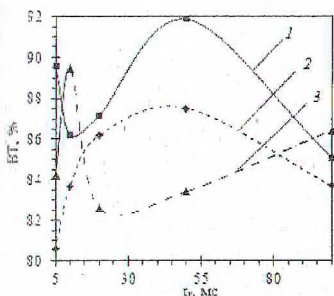


Рисунок 1 – Зависимость выхода по току меди от длительности импульса при следующих значениях длительности паузы:

1 – 2 мс; 2 – 5 мс; 3 – 10 мс

при наложении УЗ, что вызвано облегчением подачи к катоду разряжающихся комплексных частиц благодаря кавитационным явлениям. При значениях плотностей тока 2,2 и 3,5 А/дм² рассеивающая способность электролита при электролизе с наложением ультразвукового поля практически осталась неизменной и составила соответственно 70,0 и 69,6 %, в то время как при данных плотностях тока рассеивающая способность по металлу увеличилась с 53,7 % до 76,5 %.

На рисунке 2 представлены микрофотографии с увеличением 1000× медного покрытия, осажденного из цитратного электролита в стационарных условиях (а), в импульсном режиме (б) и с наложением ультразвукового поля (в). Покрyтия осаждались при плотности тока 2 А/дм².



а)



б)

Рисунок 2 – Микрофотографии медного покрытия, осажденного в стационарных условиях (а) и с наложением ультразвукового поля (б)

Как видно из рисунка 2 при наложении УЗ поля покрытия получают более однородные по структуре и с меньшими размерами зерен.

Таким образом, установлено, что применение импульсного электролиза при осаждении меди позволяет значительно увеличить рабочую плотность тока. значениях длительности импульса 5 мс и длительности паузы 10 мс рабочая плотность тока может быть увеличена в 3 раза, что существенно интенсифицирует процесс осаждения меди. Увеличение выхода по току и уменьшение пористости покрытий, полученных при любых соотношениях длительности импульса и паузы, в сравнении с их свойствами при стационарных токовых нагрузках.

Выявлено, что наложение ультразвукового поля облегчает процесс разряда ионов меди и увеличивает рассеивающую способность цитратного электролита, как по току, так и по металлу, что позволяет осаждать равномерные покрытия на изделиях сложной конфигурации. Также УЗ положительно влияет на растворение анодов, увеличивая ток пассивации и смещая его потенциал в более электроположительную область. УЗ позволяет интенсифицировать процесс осаждения меди из цитратного электролита в 1,5–1,6 раза и получить более равномерные гладкие и мелкокристаллические осадки.