

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Ордо С.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Кузьмар И.И – к.т.н., заведующая НИЛ2.2 НИЧ

Аннотация. В ходе проведения научных исследований установлены зависимости влияния параметров нестационарных режимов электролиза на функциональные свойства поликомпозиционных никелевых покрытий. Покрытия, сформированные с использованием импульсных униполярного и реверсированного токов, превосходят по микротвердости осадки, полученные на постоянном токе.

Ключевые слова: электрохимическое покрытие, разрыв, паяемость, контактное электросопротивление.

Введение. Никелевые покрытия обеспечивают высокую коррозионную стойкость, твердость и износостойкость, защищая металл от агрессивных сред и механических повреждений. Также никелирование позволяет покрыть деталь любой конфигурации, что способствует широкому распространению этого покрытия. Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы позволил выделить основные направления для возможного эффективного управления элементным составом и твердостью композиционных покрытий [1]. Одним из методов является способ, основанный на изменении электрического режима питания ванны во время электролиза (нестационарный электролиз, и, в частности, как его разновидность, программноуправляемый электролиз). Появляется возможность в широких пределах регулировать качество получаемых систем металлизации, изменяя ток по определенным программам. При этом происходит послойное формирование осадка, что позволит сочетать пластичность, необходимую твердость и наполненность дисперсной фазой. В работе рассмотрено влияние условий электрохимического осаждения на функциональные свойства осадков [2].

Основная часть. Для электроосаждения использовали разработанный в БГУИР программно-аппаратный комплекс для исследовательских и опытно-промышленных целей в состав которого входят высокочастотный источник питания импульсно-реверсным током ИП 24-2, позволяющий формировать в гальванической ванне импульсы тока положительной и отрицательной полярности, параметры которых задаются при помощи управляющего компьютера. Максимальный ток нагрузки источника питания ИП 24-2 составляет 2А; частота импульсов может задаваться от 1 до 10000 Гц. При исследованиях частота импульсного тока изменялась от 10 до 1000 Гц, амплитудная плотность тока – от 1 до 10 А/дм², длительность импульса и паузы – от 0,1 до 700 мс.

Для перемешивания электролита-суспензии, обеспечения однородности и поддержания частиц во взвешенном состоянии, использовали магнитную мешалку – оборудование бесконтактного действия, предназначенное для быстрого и безопасного перемешивания жидких веществ, в результате чего получаются растворы, эмульсии, суспензии (рисунок 1). В лабораторный стакан помещали магнитный стержень со специальным покрытием из тефлона или полиэтилена, где магнитное поле приводит его в действие, создавая вихревой поток, смешивающий жидкость. Магнитная мешалка с подогревом оснащена нагревающей пластиной, размещенной над электромагнитом. Модели с подогревом способны обеспечить степень нагрева смешиваемого вещества до 500 °С. Преимуществами такого метода перемешивания являются бесшумная работа и компактность аппарата; закрытая емкость,

отсутствие смешивающих деталей гарантирует безопасную работу с токсичными химикатами, исключая их разбрызгивание и вдыхание образующихся испарений; функция подогрева расширяет возможности работы с разными веществами.

Из сульфатного электролита никелирования, модифицированного различными фракциями углерода, получены электрохимические покрытия с использованием постоянного тока при различных плотностях тока и температуре электролита, а также методом нестационарного электролиза при частоте поляризующего тока $f = 1-100$ Гц и различных значениях длительности импульсов $\tau_{\text{имп}} = 3-300$ мс и длительности паузы $\tau_{\text{паузы}} = 7-700$ мс для униполярного импульсного тока, и длительности прямого импульса $\tau_{\text{пр}} = 0,6-300$ мс и длительности обратного импульса $\tau_{\text{обр}} = 0,06-100$ мс для реверсированного тока. Результаты исследований для каждого образца представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследований для каждого образца

№	m1, г	m2, г	Δm , г	S, дм^2	t, мин	I, А	ВТ, %	d, мкм	ϑ , мкм/мин
P1	2,6433	2,6614	0,0181	0,042	10	0,105	94,46	4,84	0,484
P2	2,6069	2,6223	0,0154	0,038	10	0,190	44,41	4,55	0,455
P3	2,393	2,408	0,015	0,036	10	0,181	45,54	4,67	0,467
P4	2,5584	2,5707	0,0123	0,038	10	0,285	23,65	3,64	0,364
P5	2,5643	2,5804	0,0161	0,038	10	0,190	46,43	4,76	0,476
P6	2,409	2,4238	0,0148	0,035	10	0,175	46,34	4,73	0,473
P7	2,489	2,504	0,0149	0,036	10	0,105	77,99	4,64	0,464
P8	2,621	2,6381	0,0171	0,046	10	0,385	24,34	4,16	0,416
P9	2,604	2,617	0,0128	0,019	10	0,299	23,44	7,61	0,761
P10	2,426	2,441	0,0147	0,040	10	0,333	24,19	4,13	0,413
P11	2,538	2,6144	0,0762	0,041	50	0,103	37,61	20,88	0,418
P12	2,491	2,5698	0,0786	0,042	50	0,105	54,69	21,03	0,421
P13	2,581	2,6511	0,0697	0,042	50	0,105	36,37	18,65	0,373
P14	2,607	2,6848	0,0778	0,042	50	0,105	54,13	20,81	0,416
P15	2,5811	2,6599	0,0788	0,042	50	0,105	54,83	21,08	0,422
P16	2,6853	2,7636	0,0783	0,042	50	0,210	32,69	20,95	0,419
P17	2,5123	2,587	0,0747	0,040	50	0,200	40,93	20,98	0,420
P18	2,5599	2,6621	0,1022	0,040	50	0,100	67,20	28,71	0,574

Для измерения микротвердости в проведенных исследованиях применялся микротвердомер Leica VMHT MOT (Кноор). Оценка микротвердости на приборе основана на измерении величины диагонали отиска, получаемого от вдавливания с определенной нагрузкой алмазной пирамиды в исследуемый материал. Нагрузку на алмазную пирамиду можно было изменять от 1 до 2000 гр. Микротвердость покрытий в зависимости от условий электроосаждения изменяется от 7477 МПа при электроосаждении на постоянном токе до 3350-5917 МПа на импульсном, 3833-7543 МПа на реверсированном и 4946,7 -8096,7 МПа при использовании программируемых токов.

Для измерения износостойкости в проведенных исследованиях применялся микротрибометр МТ 4.05 (рисунок 1). Параметры прибора: контролируемая нормальная нагрузка 10 мН – 1 Н; скорость скольжения 0,1 – 10 мм/с. Для проведения триботехнических испытаний использовалась схема сфера-плоскость, позволяющая наиболее точно рассчитать площадь пятна контакта и величины контактного давления, а также исключить неизбежное влияние наклона индентора и пластины на геометрию контакта.

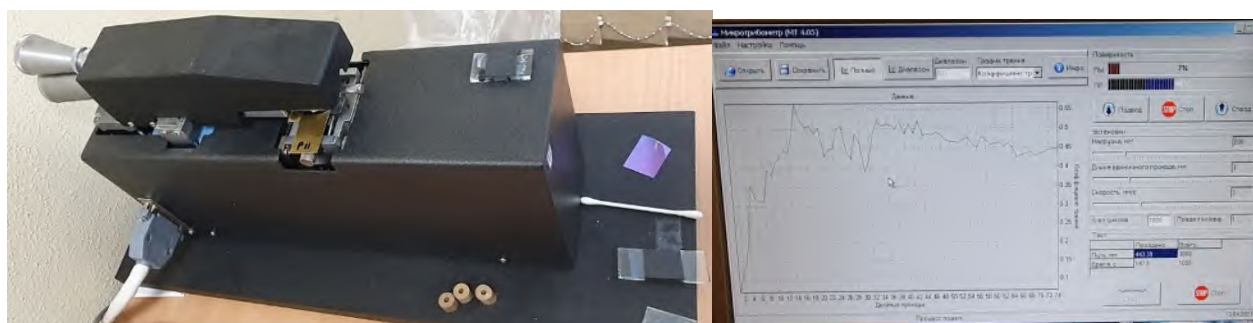


Рисунок 1 – Микротрибومتر МТ 4.05 и окно управляющей программы

Покрyтия наносили на латунную пластину. Передача, прием и обработка данных осуществляется с помощью персонального компьютера. Программное обеспечение позволяет устанавливать скорость движения образца, величину нормальной нагрузки и длину трека, вести запись величины силы и коэффициента трения. Для каждого образца проводились измерения как вдоль линии прокатки так и поперек.

Основываясь на экспериментальных данных установили, что осаждение с никелевой матрицей ультрадисперсных алмазов на различных токах приводит к варьированию величины объемного износа получаемых покрытий. Износостойкость КЭП резко возрастает с увеличением содержания дисперсной фазы в электролите, обеспечивая высокие антифрикционные свойства (таблица 4.4). Во время проведения исследований на износостойкость получены результаты коэффициента трения k : P10 – $k = 0.75$, P11 – $k = 0.45$, P12 – $k = 0.16$. Использование комбинированных токов позволяет уменьшить коэффициент трения, что позволяет придать никелевому покрытию большую износостойкость. Коэффициент трения варьируется от $k=0,53$ при электроосаждении на постоянном токе до $k=0,44-0,77$ на импульсном, $k=0,26-0,33$ на реверсированном и $k=0,14-0,43$ на программируемых токах.

Коррозионную стойкость покрытий оценивали по данным электрохимических измерений коррозионных токов и скоростей саморастворения. Толщина исследуемых покрытий, нанесенных на латунные подложки 6,0 или 30,0 мкм. Скорость саморастворения металла измеряли гравиметрическим методом. Образец с осажденным покрытием промывали в дистиллированной воде, тщательно высушивали, а затем взвешивали. После чего помещали его в агрессивную среду (раствор NaCl 30 г/л) на 8 суток. Прокорродировавшие образцы извлекали из раствора, промывали дистиллированной водой, тщательно высушивали и снова взвешивали. Исследуемые образцы визуально не имеют очагов поражения коррозии (рисунок 4.14). Варьирование параметрами поляризующего тока позволило получить покрытия без видимых очагов коррозии, а скорость коррозии снизилась в 1,2..2,8 раза.

Заключение. Исследованы функциональные свойства поликомпозиционных никелевых покрытий и установлены зависимости изменения скорости осаждения, микротвердости, износостойкости и скорости коррозии осадков от параметров поляризующего тока. Установлено, что применение нестационарных режимов электролиза позволяет управлять структурой и свойствами поликомпозиционных никелевых покрытий. По сравнению с покрытиями, осажденными на постоянном токе, они обладают более высокой микротвердостью, гладкой мелкозернистой поверхностью и улучшенными электрическими характеристиками. Формирование многослойных структур с чередующимися микрослоями компенсирует пористость - основной недостаток гальванического никеля. Таким образом, нестационарный электролиз является эффективным методом получения покрытий с заданными улучшенными свойствами для радиоэлектронной промышленности.

Список литературы

1. Импульсное электроосаждение и свойства композиционных покрытий никель-оксид графена / В. Н. Целуйкин, [и др.] // Москва: Физикохимия поверхности и защита материалов, 2023. Т. 59, № 3. С. 305-309.
2. Шушков, Р.В. Влияние режима электролиза на свойства никелевых покрытий / Р.В. Шушков, Н.Д. Соловьева // Москва: Успехи в химии и химической технологии, 2007. Т. 21, № 10. С. 29-33..

UDC 615.47:615.844.5

**INFLUENCE OF PROGRAMMABLE ELECTROLYSIS MODES
ON FUNCTIONAL PROPERTIES
POLYCOMPOSITE NICKEL COATINGS**

Ordo S.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuzmar I.I. – Cand. of Sci., Head of the Research Laboratory of R&D Department

Annotation. In the course of scientific research, the dependences of the influence of the parameters of programmable electrolysis modes on the functional properties of polycomposite nickel coatings have been established. Coatings formed using pulsed unipolar and reversed currents are superior in micro-stability to precipitation obtained with direct current.

Keywords: electrochemical coating, rupture, solderability, contact electrical resistance.