

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

Клименков С.С., Трубников Ю.В., Новиков А.К.

*Витебский государственный технологический университет
Республика Беларусь, 210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72
belikov@vstu.unibel.by*

Наиболее перспективными среди композиционных порошковых покрытий по эксплуатационным характеристикам являются композиционные электрохимические покрытия (КЭП), представляющие собой композицию электрохимически осажденной металлической матрицы и распределенных в ней частиц керамического порошка. Метод получения КЭП заключается в том, что керамические частицы осаждаются на изделия совместно с металлом из гальванической ванны. Введение в материал покрытия керамических частиц повышает эксплуатационные характеристики и срок службы композиционного материала [1].

Структуру и свойства КЭП определяют параметры электроосаждения. Роль каждого из технологических факторов в процессе образования композиционного осадка и влиянии на структуру покрытия различна, однако все параметры технологического процесса находятся в тесной взаимосвязи. Определяющим параметром осаждения металла матрицы является сила тока процесса электролиза [1]. Влияние силы тока на неметаллические частицы ограничено. Известно, что в прикатодную область частицы доставляются за счет перемешивания электролита-суспензии (ЭС). [2]. Перемещение неметаллических частиц в объеме ЭС характеризуется параметром скорости движения электролита-суспензии относительно катода.

Анализ проведенных исследований в области получения композиционных электрохимических покрытий показал широкое применение физико-математических моделей процесса образования композиционных покрытий для определения оптимальных технологических факторов [3].

Целью работы является разработка метода расчета технологических параметров осаждения композиционного электрохимического покрытия с использованием физико-математической модели процесса формования КЭП. Метод позволит по требуемому составу композиционного материала определять параметры режима осаждения КЭП.

При составлении физико-математической модели использовались следующие допущения: температура электролита-суспензии постоянна; перемешивание характеризуется параметром скорости движения ЭС относительно катода; скорость керамической частицы определяется ее массой и скоростью электролита.

Исходными данными для расчета технологических параметров являются: требуемое соотношение металла матрицы и порошка в композиционном материале и время процесса нанесения покрытия.

На первом этапе расчета технологических параметров композиционного покрытия, в зависимости от требуемого соотношения металла матрицы и керамического порошка, рассчитывают силу тока процесса электролиза:

$$I = \frac{m_1}{\mathcal{E} \cdot t_* \cdot BT},$$

где I – сила тока; \mathcal{E} – электрохимический эквивалент металла; t_* – время процесса нанесения композиционного материала; BT – выход по току;

На втором этапе рассчитывают скорость движения электролита-сuspензии, требуемую для включения в композиционный материал керамических частиц массой m_2 ,

$$g_0 = \frac{a(1-c)}{1+c},$$

где a – коэффициент, выражающий зависимость начальной скорости от плотности керамической частицы; c – коэффициент, выражающий зависимость начальной скорости от массы керамических частиц m_2 в композиционном материале.

Переменные, используемые в формуле, рассчитываются следующим образом:

$$c = \frac{e \frac{\pi b R^2 l_0 \rho_1}{m_2} - e \frac{\pi b R^2 l_0 \rho_1}{2m_2} + \frac{b l_0}{a}}{e \frac{\pi b R^2 l_0 \rho_1}{2m_2} + \frac{b l_0}{a} - 1},$$

$$a = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot \lambda^3 \cdot 100}{k}},$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{g \cdot k \cdot 100}{\rho \cdot \lambda^3}},$$

где ρ_1 – объемная плотность частиц в электролите; λ – размер частиц (см); ρ – плотность частицы (г/см^3); l_0 – длина реактора (анода); R – радиус реактора (см); m – масса керамической частицы (г).

Используя теоретически определенные на первом и втором этапах параметры процесса осаждения такие, как сила тока I и g_0 , а также параметры, использованные при теоретическом расчете, проводят осаждение КЭП. Состав покрытия проверяется с помощью микроскопа на микрошлифе.

Проверка применимости предложенного метода определения параметров электроосаждения композиционного материала с заданным процентным соотношением дисперсной и металлической фаз осуществлялась на примере осаждения покрытия следующего состава: $\text{Cu} - 73\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 25\%$, др. – 1% . [2]. Целью данной проверки являлось определение соответствия между теоретическим соотношением фаз, применявшемся для расчета параметров процесса осаждения и реально полученными результатами.

Так как расчет параметров электроосаждения предназначен для двухфазного покрытия, то принимаем объемное содержание меди в покрытии 75% и не учитываем в расчете 1% посторонних включений. Покрытие формируется при температуре электролита-сuspензии $t = 55^\circ\text{C}$. Размеры анода $l_0 = 10$ см, $R = 3$ см. Электрохимический эквивалент меди $\mathcal{E} = 1,186$ г/А·ч. Объемная плотность керамических частиц в электролите $\rho_1 = 0,3$ г/см³.

Необходимо получить композиционное покрытие с объемным содержанием керамических частиц $y = 0,25$. Так как в формулах, используемых при расчете параметров, используется массовое соотношение необходимо определить коэффициент перевода объемного отношения в массовое k

$k = \rho_{\text{кер}} / \rho_{\text{мет}}$		$\rho_{\text{мет}}$
		8,94
$\rho_{\text{кер}}$	2,7	0,3

где k – коэффициент преобразования; $\rho_{\text{кер}}$ – плотность керамических частиц (г/см³); $\rho_{\text{мет}}$ – плотность металла матрицы (г/см³).

Тогда массовое отношение керамических частиц и металла матрицы в покрытии

$$x = 0,25 \cdot 0,3 = 0,075. \text{ Величина } m_2 = 0,86 \text{ (г)}. \text{ Тогда } m_1 = \frac{m_2}{x} = \frac{0,86}{0,075} = 11,46 \text{ (г)}, \text{ где}$$

m_1 – масса керамического порошка в покрытии.

В зависимости от массы m_1 определяем силу тока, необходимую для получения покрытия:

$$I = \frac{m_1}{\varepsilon \cdot t_* \cdot BT} = \frac{11,46}{1,186 \cdot 1 \cdot 0,74} = 13,06 \text{ (А)},$$

где BT – выход по току.

Состав электролита: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 220 г/л, H_2SO_4 – 60 г/л, блескообразователь БС-1 – 5 мл/л.[1]. Применяемые керамические частицы – оксид алюминия. Величины переменных a и b , в зависимости от плотности и размера керамических частиц приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1.

a, b			$\rho, \text{ г/см}^3$
			2,5-4
$\lambda, \text{ см}$	0,001-0,015	a	0,945
		b	2173865

Значения переменной c , в зависимости от величин m_2 и ρ , приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2.

c		$\rho, \text{ г/см}^3$
		2,5-4
$m_2, \text{ г}$	0,5-1	-0,9099

Тогда начальная скорость керамических частиц должна составлять

$$\vartheta_0 = \frac{a \cdot (1 - c)}{1 + c} = \frac{0,945 \cdot (1 + 0,9099)}{1 - 0,9099} = 0,896 \text{ (см/с)}.$$

Используя теоретически определенные параметры процесса осаждения КЭП, такие как $\vartheta_0 = 0,896 \text{ (см/с)}$ и сила тока $I = 13,06 \text{ (А)}$, а также параметры, использовав-

шиеся при теоретическом расчете, было проведено осаждение КЭП на основе меди и оксида алюминия.

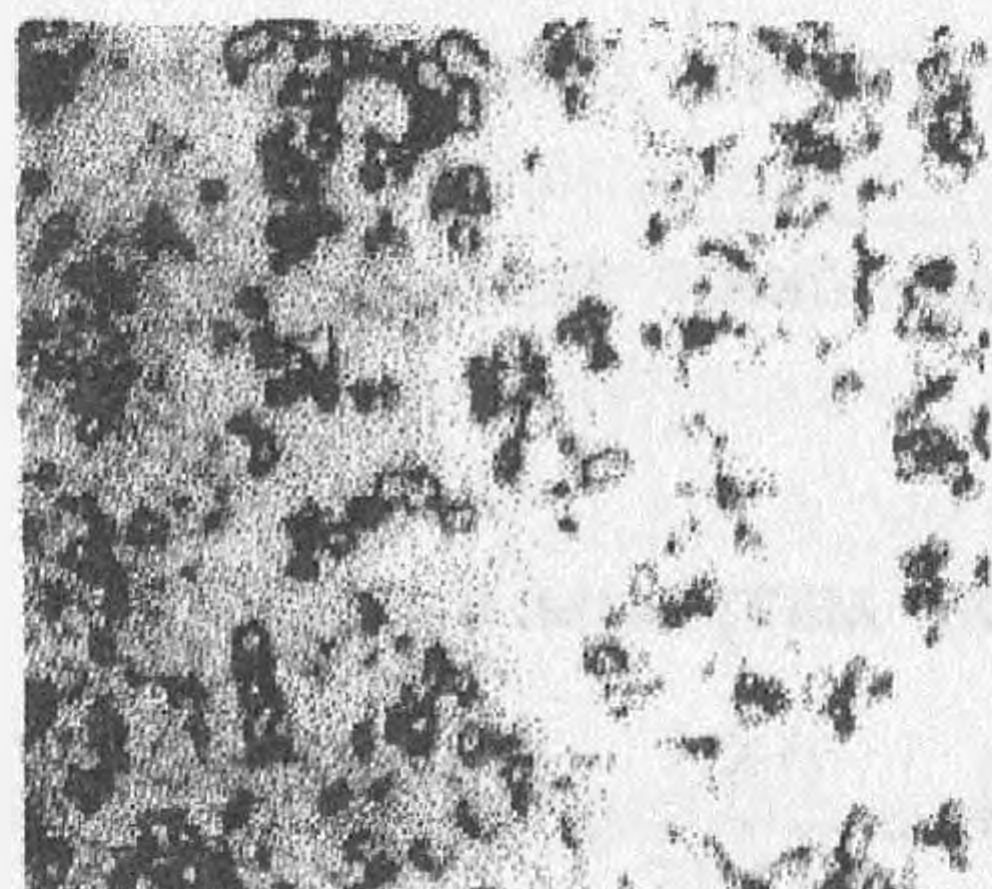


Рис. 1

Исследование полученного композиционного электрохимического покрытия проводилось при помощи прикладной компьютерной программы «AnalyS-2». Программа осуществляет подсчет процентного соотношения фаз в покрытии путем анализа фотографии микрошлифа композиционного материала. Фотография получена с использованием микроскопа МИМ-8М с увеличением $F 6,2 \times 20$. Структура покрытия представлена на рис. 1. Для упрощения анализа в компьютерной программе установлено ограничение на двухфазное КЭП. Величина погрешности подсчета процентного соотношения фаз составляет 2-4%.

Анализ полученного образца показал, что объемная плотность керамических частиц в покрытии составляет 23%.

Сравнение результатов соотношения металлической и керамической фаз в полученном образце и в использовавшемся для расчета параметров процесса осаждения КЭП теоретическом составе представлены на рис. 2.

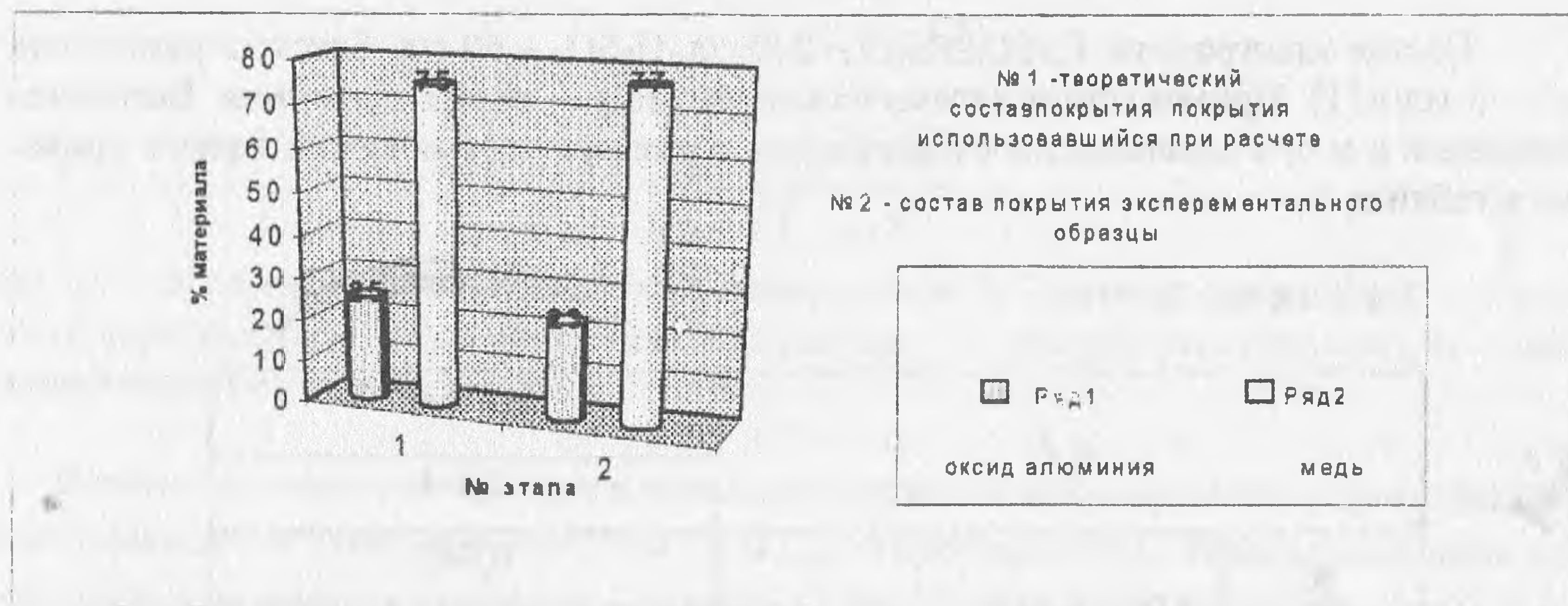


Рис. 2.

Процентное соотношение фаз в полученном образце отличается от соотношения фаз, использовавшегося при расчете, на 2%. Это дает основание сделать вывод о применимости на практике данной методики расчета технологических параметров процесса осаждения КЭП в зависимости от требуемого процентного соотношения фаз в покрытии.

Вывод: Разработан метод расчета технологических параметров осаждения композиционного электрохимического покрытия. Основное достоинство метода – возможность расчета параметров осаждения покрытия в зависимости от требуемого состава покрытия. Применение описанного метода избавляет от необходимости многократной корректировки режимов осаждения, что снижает трудоемкость процесса получения КЭП.

Список литературы

1. П.Л. Прудников. Алмазосодержащие композиционные покрытия.
2. Р.С. Сайфулин. Композиционные электрохимические покрытия.
3. И.Н. Бородин. Порошковая гальванотехника.