

скую форму (размер 10-30мкм), их количество уменьшается. Это дает возможность регулировать удельную поверхность и объема изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселевский Л.И., Гольцев М.В. Особенности формирования поверхностных слоев при воздействии пучков ионов Ti и Zr // Доклады АН БССР. -т. XXXII. - №5. - 1988. - 404с. 2. Гольцев М.В. и др. Влияние состава ионно-плазменных покрытий на изменение триботехнических характеристик // Трение и износ. - 1997. - Т.18, №2. - С.240-243.

УДК 54.182:669.018.95

Н.А. Дубинский

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Введение

В настоящее время все большее значение в технике приобретают композиционные материалы (КМ), получаемые путем совместного электрохимического осаждения металла и дисперсной фазы (ДФ) из электролитов-суспензий. Преимущества КМ перед обычными покрытиями, полученными из тех же электролитов, не содержащих ДФ, хорошо известны [1 - 4].

Нами КМ используются для изготовления оформляющих вставок литевых пресс-форм с требуемыми, заранее рассчитанными, распределением частиц и пористостью в объеме покрытия. Это позволяет обеспечить необходимые прочностные свойства вставок и скорость отвода тепла от поверхности отливки и снизить в ней внутренние напряжения. В то же время сведения о КМ, полученных электрохимическим способом, весьма ограничены. Целью работы является исследование механизма образования и прогнозирование свойств КМ.

Постановка задачи и ее решение

Включение ДФ в КМ происходит в результате сложного взаимодействия частиц с гидродинамическими, электрическими, концентрационными полями электролита и поверхностью растущих кристаллов металла. При этом в процессе осаждения покрытия, на катоде всегда имеется избыточное количество электронов. Металлический осадок проявляет способность к выталкиванию посторонних тел (ДФ), причем в не-

которых случаях кристаллизационное давление, которое испытывают частицы порошка, может достигать нескольких мегапаскалей [4]. Получаемые покрытия содержат значительное количество дислокаций, плотность которых может достигать значений $10^{11} - 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Вышеперечисленные факторы являются благоприятными условиями для образования адсорбционных связей между частицами включаемого порошка и металлом матрицы. Процесс адсорбции описан в работе [4] и имеет следующие этапы (при этом 2-й и 3-й этапы не являются необходимыми): (1) образование физического контакта между частицей и матрицей (происходит сближение микровыступов поверхности частицы порошка и поверхности металла осадка до расстояний порядка нескольких ангстрем); (2) химическое взаимодействие материалов на границе раздела ДФ и матрицы (идет образование активных центров на поверхности более твердого из соединяемых материалов ДФ); (3) объемное развитие процесса взаимодействия, заключающееся в релаксации упругих сил. То есть в процессе осаждения материал матрицы (кристаллический зародыш) испытывает деформацию, в результате чего, мы считаем, происходит адгезионное соединение металла с дисперсными частицами.

Проведенные нами исследования распределения частиц в покрытии показали, что частицы распределены в осадке равномерно, как по поверхности катода, так и по толщине [5]. Этот факт дает основание для разработки модели определения предела прочности покрытия. Прочность сцепления частиц дисперсной фазы с металлом матрицы, с учетом положений предложенной модели формирования КМ, можно определить по следующей модели

$$\sigma = \frac{\eta \rho \mu b^2}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \theta) \left[\ln\left(\frac{L}{b}\right) - \frac{7}{3} \right], \quad (1)$$

где η – относительная площадь касания; ρ – плотность дислокаций; μ – модуль сдвига материала матрицы; b – вектор Бюргерса дислокаций; ν – коэффициент Пуассона; θ – угол между вектором Бюргерса и элементом длины дислокации; L – расстояние между дислокациями.

В качестве характеристики фактической площади касания обычно используется кривая опорной поверхности (опорная кривая) [6]

$$\eta = \exp c(1-1/\varepsilon), \quad (2)$$

где $\eta = \frac{A_r}{A_a}$, A_r, A_a – фактическая и номинальная площади контакта; $\varepsilon = a/h_{\max}$ – относительное сближение; a – сближение поверхностей; h_{\max} – высота максимального микровыступа; c – константа, равная примерно 0,3 – 0,7.

С учетом вышеизложенного и в соответствии с положениями работы [7], предел прочности композиционного материала на разрыв будет определяться по формуле

$$\sigma_{pk} = \sigma_{ms} X_m K + \sigma, \quad (3)$$

где $\sigma_{рк}$ — предел прочности на разрыв КМ; $\sigma_{м}$ — предел прочности на разрыв металла матрицы; X_m — соответствующая доля поверхности металла матрицы от поверхности разрыва осадка, которая зависит от пористости покрытия; K — коэффициент, учитывающий упрочнение металла покрытия, определяется зависимостью [3]

$$K = 1,2 + \frac{d_2}{\delta_k} + \frac{X_v}{X_v'}, \quad (4)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий упрочнение металла за счет контактирования частиц с катодом; d_2 — эквивалентный диаметр дисперсной частицы; δ_k — толщина слоя металла; X_v — содержание частиц в объеме материала; X_v' — максимальное содержание частиц в объеме покрытия, принимаемое равным 60%.

Пористость осадка можно определить по следующей зависимости [8]

$$W_n = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{d_2^3 \cos^4 \varphi}{8 \sin \varphi} - \frac{d_2^3}{8} (1 - \sin \varphi)^2 (2 + \sin \varphi) \right) v_1, \quad (5)$$

где W_n — пористость покрытия; v_1 — количество частиц дисперсной фазы в осадке; φ — угол, образующийся металлом матрицы, при зарастивании частиц дисперсной фазы.

Для определения достоверности предложенной модели (3), разработана и изготовлена установка для осаждения КМ, схема которой представлена на рис. 1. В случае получения КМ с анизотропными свойствами, в ванну устанавливается анод, конструктивно состоящий из квадратных либо прямоугольных элементов и экраны. Изменяя расстояние между участками анода и катодом, а также экранируя отдельные участки катода, задается необходимая плотность тока между участками анода и изделием.

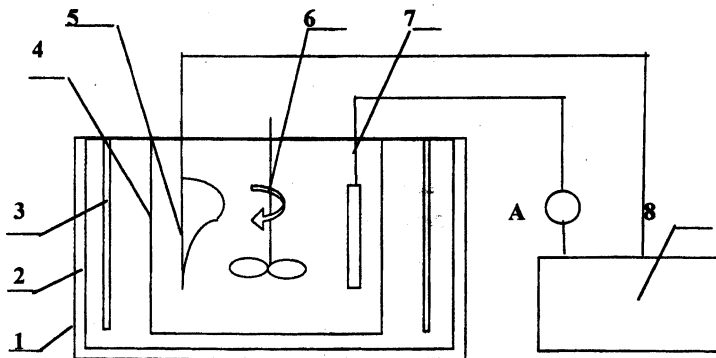


Рис. 1. Схема установки для осаждения композиционных покрытий, получаемых электрохимическим способом (1 — корпус установки, 2 — теплоизоляционный матери-

ал, 3 – ТЭНЫ, 4 – ванна с электролитом, 5 – катод с моделью вставки пресс-формы, 6 – лопастная мешалка, 7 – анод, 8 – широтно-импульсный модулятор)

Осаждение покрытий проводили из электролита железнения, следующего состава (г/л): хлористое железо FeCl_2 200 – 300; хлористый натрий 90 – 100; соляная кислота 2 – 3 – при следующих режимах электролиза: температура электролита 40 – 80 °С, плотность тока 20 – 70 А/дм². В качестве дисперсной фазы использовались порошки оксида алюминия марки М5 Н (ГОСТ 3647-80), каолина (ГОСТ 21286-82) и силиката кальция, концентрация которых в электролите составляла 100 г/л.

Скорость движения электролита при перемешивании варьировалась в пределах 0,01 – 0,1 м/с. Экспериментально установлено, что при увеличении скорости потока электролита от 0,01 м/с до 0,1 м/с возрастает диаметр частиц, включающихся в КМ с 2 до 15 мкм. Однако при увеличении скорости движения потока электролита от 0,25 м/с диаметр включающихся частиц уменьшается до 2 мкм. Для проведения дальнейших исследований использовали покрытия с включением частиц ДФ размером 5 мкм.

Результаты и их обсуждение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению прочности КМ представлены на рис. 2.

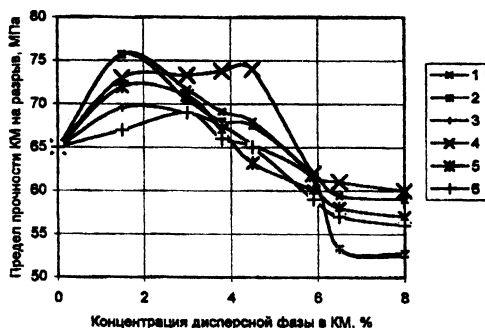


Рис. 2. Зависимость предела прочности покрытия от содержания дисперсной фазы (1, 2, 3 — результаты расчета предела прочности на разрыв по модели (3); 4, 5, 6 — экспериментальные данные определения предела прочности на разрыв покрытия, содержащего в качестве дисперсной фазы соответственно оксид алюминия, каолин и силикат кальция соответственно)

Из рис. 2 следует, что прочность покрытия с увеличением содержания частиц дисперсной фазы вначале повышается (до 75 МПа), а затем наблюдается некоторое уменьшение исследуемого показателя (до 50 МПа). Это явление можно пояснить следующим образом. Как следует из формулы 3 включение частиц дисперсной фазы в покрытие в небольших количествах (до 3–5 масс. %) влечет упрочнение металла матрицы за счет увеличения плотности дислокаций и прочности связи между металлом матрицы и частицами. В дальнейшем, с увеличением количества включений, увеличивается предел прочности металла матрицы, однако его удельная площадь от

площади разрыва значительно сокращается и вместе с тем уменьшается прочность связи между металлом матрицы и частицей дисперсной фазы в КМ. В результате прочность покрытия начинает уменьшаться.

В работе были проведены экспериментальные исследования влияния пористости покрытия на предел прочности покрытия на разрыв (рис.3). Графики зависимостей предела прочности и пористости КМ с включениями каолина и силиката кальция имеют аналогичный вид, как и график зависимости для осадка с включением оксида алюминия.

Из рис. 3 следует, что покрытия с включением 1,5 – 4,3 масс. % частиц порошка обладают максимальной прочностью, достигающей 70 – 75 МПа, поэтому в дальнейшем эксперименты проводились только для КМ указанного состава. Следует отметить, что покрытия такого состава получаются при следующих условиях электролиза: концентрация порошка Al_2O_3 в ванне равна 100 г/л, температура электролита 50°C, плотность катодного тока 30 А /Дм²; каолина -- 100 г/л, температура электролита 80°C, плотность катодного тока 50 А /Дм²; силиката кальция -- 100 г/л, температура электролита 60°C, плотность катодного тока 30 А /Дм².



Рис.3. Зависимость предела прочности и пористости КМ от содержания в нем оксида алюминия

Как показали результаты исследований КМ с одинаковым массовым включением порошка оксида алюминия обладают меньшей пористостью, чем с включениями каолина и силиката кальция, что объясняется его большей плотностью (плотность Al_2O_3 – 3,97 г/см³, каолина 2,51 – 2,61 г/см³, силиката кальция 2,3 – 2,6 г/см³).

Выводы

В работе исследован механизм образования композиционных материалов, полученных электрохимическим способом. Предложены модели определения прочности на разрыв и пористости композиционных материалов. Относительная погрешность разработанных нами моделей не превышает 5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. — 304 с.
2. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. – Кишинев: Штиинца, 1985. — 238 с.
3. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. – Киев: Техніка, 1986. — 200 с.
4. Бородин И.Н. Порошковая гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1990. — 240 с.
5. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Распределение частиц в композиционных материалах с железной матрицей, полученных электрохимическим способом // Весці НАН Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 4. – С.5—7.
6. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 230 с.
7. Дубинский Н.А., Свирский Д.Н. Прочность электроформованной оболочки литьевых пресс-форм в компактной системе производства пластмассовых изделий / Акад. науч. комплекс. Ин-т тепло- и массообмена. – Минск, 2001. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 09.12.2000. – № 3110-В00 // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 4. – С. 157.
8. Дубинский Н.А. Теоретическое определение некоторых характеристик композиционных электрохимических материалов // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – Т.4, № 4. – С. 27 – 30.

УДК 621.793

М.И. Жемчужный

ГАЛЬВАНО-ПЛАЗМЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

*Витебский государственный университет им. П.М.Машерова
Витебск, Беларусь*

При разработке объектов новой техники, возникла потребность в нанесении износостойких покрытий на пары трения из легких сплавов, используемых в условиях атмосферного воздействия. Традиционные методы решения проблемы: применение поверхностно-активных веществ, баббитовых покрытий и смазок не устранили диффузионные эффекты. Выход из строя подшипников скольжения носил случайный, катастрофический характер.

Решить поставленную практикой задачу предложено формированием железоуглеродистого покрытия на поверхности пар трения из легких сплавов гальвано - плазменным методом.

Метод состоит из следующих этапов:

- депассивация основы;
- гальваническое осаждение на основу покрытия заданного состава и толщины;