

УДК 669.018.95

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н.А. ДУБИНСКИЙ***Витебский государственный университет  
им. П.М. Машерова, Республика Беларусь*

### Введение

Проблема увеличения прочности и надежности деталей машин неразрывно связана с разработкой оборудования для получения новых материалов. Преимущества композиционных материалов, полученных электрохимическим способом, хорошо известны [1]. В то же время наша промышленность не выпускает необходимые специализированные установки для осаждения композиционных материалов. Использовать же имеющиеся установки для нанесения гальванических покрытий без внесения конструктивных изменений не представляется возможным ввиду того, что в них отсутствует возможность регулирования ряда параметров процесса электрохимического осаждения, которые позволяют получать материалы с заданными свойствами.

### Постановка задачи

Целью работы является разработка и изготовление установок, позволяющих осаждать композиционные материалы с заранее заданными свойствами.

### Методы испытаний

Были разработаны и изготовлены две установки для осаждения композиционных материалов (рис. 1, 2).

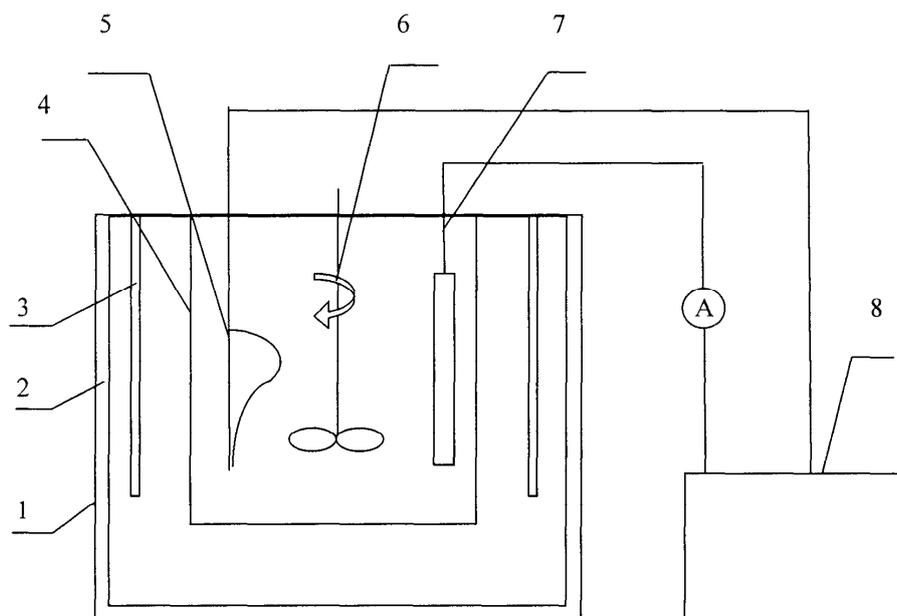


Рис. 1. Блок-схема установки для осаждения композиционных покрытий, получаемых электрохимическим способом (1 – корпус установки, 2 – теплоизоляционный материал, 3 – ТЭНы, 4 – ванна с электролитом, 5 – катод (деталь или модель), 6 – лопастная мешалка, 7 – анод, 8 – широтно-импульсный модулятор)

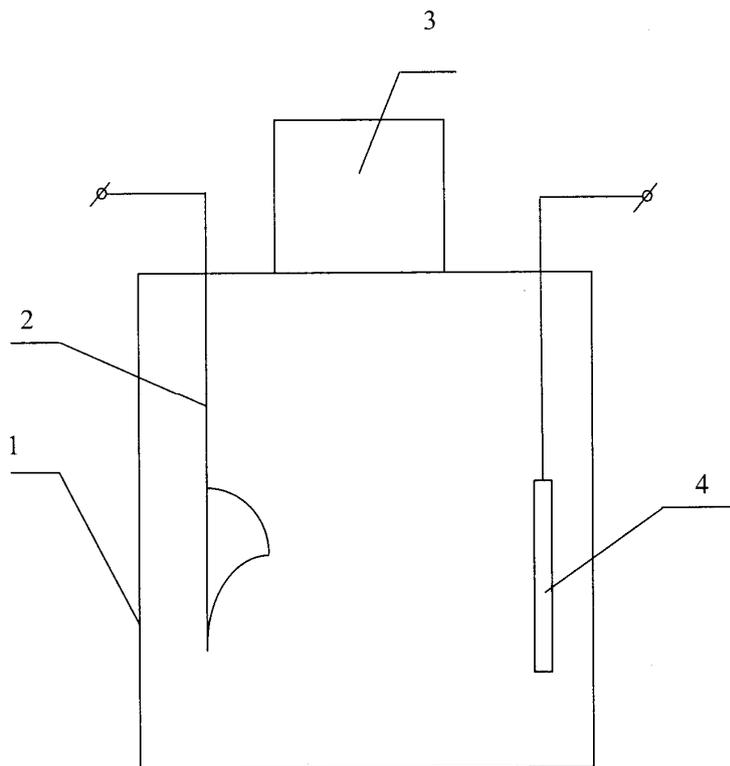


Рис. 2. Блок-схема установки для осаждения композиционных покрытий, получаемых электрохимическим способом (1 – ванна с электролитом, 2 – катод (деталь или модель), 3 – генератор ультразвуковых колебаний, 4 – анод)

Первая установка (рис. 1) конструктивно состоит из корпуса (1), стенки которого покрыты теплоизоляционным материалом (2). Внутри корпуса размещены теплоэлектронагреватели (3), с помощью которых поддерживалась необходимая температура электролита. Конструкция предусматривает возможность регулирования температуры от 20 до 100 °С для получения покрытий с заданным массовым содержанием в них частиц порошка. Контроль температуры осуществляется с помощью спиртового термометра со шкалой от 0 до 100 °С и ценой деления в один градус. Внутри корпуса расположена ванна объемом 15 л (4). В качестве катода (5) служит деталь, на которую наносится композиционное покрытие, а в случае осуществления гальванопластического процесса – модель, поверхность которой покрыта токопроводящим слоем.

Перемешивание электролита осуществлялось с помощью лопастной мешалки (6), расположенной между анодом (7) и катодом. В качестве электропривода использовали двигатель постоянного тока. Скорость вращения электродвигателя изменяли при помощи реостата путем подачи на него необходимого напряжения. Тем самым могли варьировать размер частиц, включающихся в покрытие.

Питание анода и катода происходило от широтно-импульсного модулятора (8), который позволяет подавать импульсный ток с регулируемым импульсом силы тока, как по значению амплитуды, так и по времени импульса, а также постоянный ток с регулируемой величиной силы тока от 0,1 до 100 А. Контроль силы тока проводили с помощью амперметра со шкалой от 0 до 100 А.

Для получения КМ с анизотропными свойствами, в ванну устанавливаются анод, конструктивно состоящий из квадратных либо прямоугольных элементов, и экраны. Изменяя расстояние между участками анода и катодом, а также экранируя отдель-

ные участки катода, задаем необходимую плотность тока между участками анода и изделием.

Вторая установка (рис. 2) позволяет получать композиционные покрытия с помощью ультразвука. Она состоит из гальванической ванны объемом 15 л (1), катода (в качестве которого служит деталь или модель) (2); генератора ультразвуковых колебаний УЗУ – 025 мощностью 250 Вт (3); анода (4). При проведении исследований частота ультразвука составляла 20 000 Гц, при этом электроды располагались параллельно ультразвуковым волнам, что обеспечивало наиболее равномерное распределение поля.

Для проведения исследований использовали хлористый электролит железнения [2], который готовили из реактивов марок «ХЧ» и «ЧДА». В качестве частиц дисперсной фазы использовали порошки оксида алюминия, каолина и силиката кальция.

Взвешивание образцов проводили на аналитических весах ВЛР-200М с точностью до  $5,0 \cdot 10^{-8}$  кг. Исследование структуры композиций проводили с помощью микроскопа МИМ-8М при 750-кратном увеличении.

Исследование предела прочности композиционных материалов проводили на машине для проведения испытаний на растяжение МР-200.

Электросопротивление измеряли с применением моста Р-333.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

С целью определения оптимальных режимов электролиза для осаждения композиций повышенной прочности в работе изучено влияние концентрации частиц порошка и температуры электролита на содержание частиц порошка в композиции (рис. 3). Осаждение проводили на установке, блок-схема которой представлена на рис. 1.

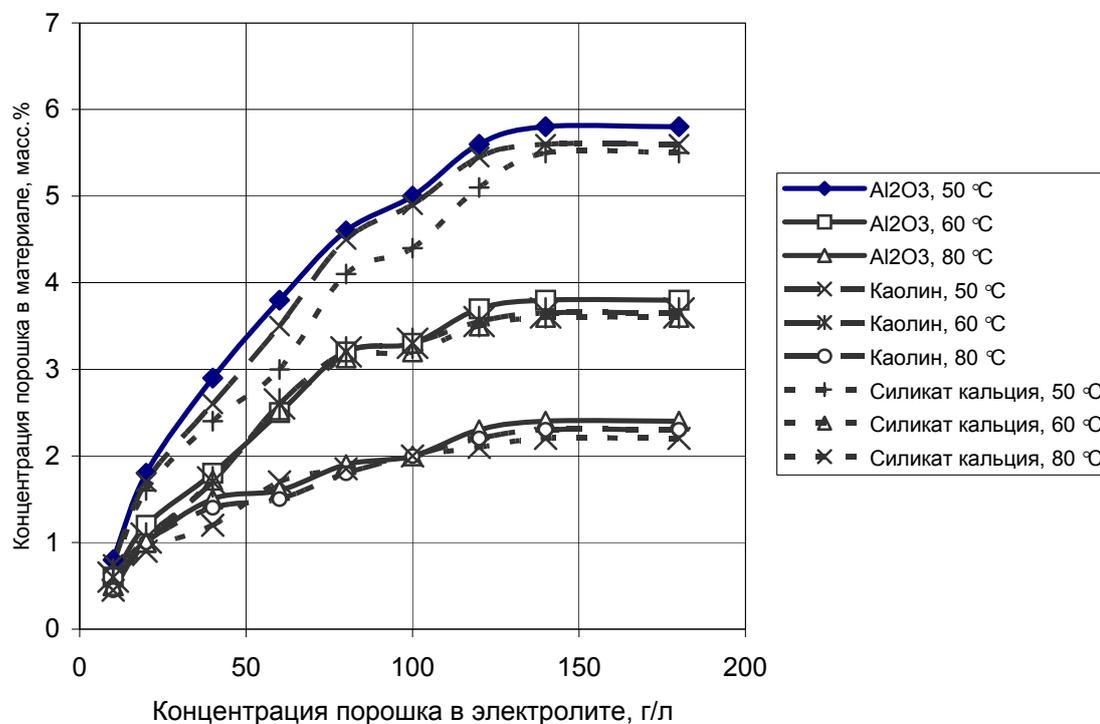


Рис. 3. Зависимость количества включений частиц порошка (масс. %) в композиционных материалах от концентрации дисперсной фазы в электролите и температуры электролиза

Как показали исследования, изменение температуры электролита-суспензии оказывает существенное влияние на свойства материала. Увеличение температуры электролита позволяет повышать плотность тока и, следовательно, интенсифицировать скорость осаждения металла. Осаждение композиций проводилось при плотности катодного тока, равном 40 А/Дм<sup>2</sup>. Из рис. 3 следует, что если при концентрации порошка в электролите 10 г/л увеличение температуры процесса от 50 до 80 °С приводит к уменьшению содержания частиц ДФ в покрытии от 0,7 – 0,8 масс. % до 0,4 – 0,5 масс. %, то при концентрации порошка в электролите 180 г/л соответствующее изменение температуры приводит к уменьшению содержания частиц в покрытии от 5,5 – 5,8 масс. % до 2,2 – 2,4 масс. %. Изучение микрошлифов покрытия под микроскопом показало, что с увеличением температуры электролиза в нем преобладают частицы мелких фракций. Таким образом, с увеличением температуры электролиза уменьшается вязкость электролита, вследствие чего более крупные частицы порошка оседают в нижние слои электролита, их количество в околокатодном пространстве резко уменьшается и в осадок включаются частицы меньших размеров.

Следовательно, уменьшается и общий вес дисперсной фазы в материале. При более низких температурах электролиза вероятность включения в осадок более крупных частиц повышается, особенно при высоких плотностях тока, за счет скорости зарастания частиц.

Можно получить следующую зависимость, подтверждающую сделанные выводы:

$$\frac{mV^2}{2} = 6\pi\eta r l V, \quad (1)$$

где  $m$  – масса дисперсной частицы, кг;  $V$  – скорость, с которой дисперсные частицы входят в неподвижный слой жидкости, м/с;  $\eta$  – вязкость жидкости, МПа\*с;  $r$  – эквивалентный радиус частицы, м;  $l$  – расстояние, которое пройдет частица до полной остановки, м.

С учетом:

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность частицы дисперсной фазы, кг/м<sup>3</sup>;  
получаем:

$$l = \frac{r^2 V \rho}{9\eta}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что расстояние, проходимое в вязкой жидкости больше для частиц большего диаметра, следовательно, частицы меньшего диаметра лучше включаются с повышением температуры, что подтверждает высказанные нами предположения.

Учитывая тот факт, что композиции с включением 1,5 – 4,3 масс. % частиц порошка обладают максимальной прочностью 70 – 75 МПа (в то время как прочность «чистого» железа колеблется от 45 до 50 МПа [3]), оптимальное количество порошка в электролите должно быть в пределах 90 – 140 г/л. При этом электролит в течение определенного времени (4 – 8 часов) может работать без корректировки состава.

Установлено, что удельное электросопротивление композиции постоянно увеличивается за счет увеличения содержания в нем неэлектропроводных частиц порошка и пористости (рис. 4).

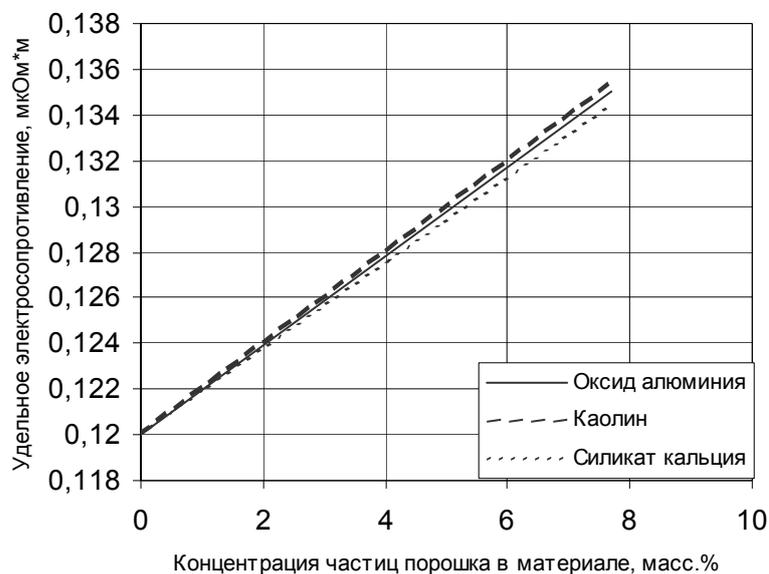


Рис. 4. Зависимость удельного электросопротивления композиционного материала от содержания в нем частиц оксида алюминия, каолина и силиката кальция

Экспериментальные исследования, проведенные с помощью установки, блок-схема которой представлена на рис. 2, показали, что ультразвуковое поле в электролите вызывает его энергичное перемешивание и увеличивает интенсивность электрических и диффузионных процессов, а также энергично удаляет газообразный водород, выделяющийся на катоде в процессе электролиза. Кроме того, снижается наводораживание покрытия. В результате воздействия ультразвуком материалы получают с более высокими физико-механическими свойствами. Массовый процент включений частиц порошка в зависимости от концентрации дисперсной фазы в электролите и температуры электролиза незначительно отличаются от предыдущего исследования, представленного на рис. 3. Частицы в композиции распределены равномерно. Так же, как показано в работе [4]. Максимальный предел прочности композиционных материалов на разрыв увеличился и составил 76-80 МПа.

### Выводы

1. В ходе выполнения работ спроектированы и изготовлены две установки для осаждения композиций с включениями частиц порошка.

2. На установках получены композиционные материалы и исследованы их физико-механические свойства.

### Список литературы

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. – 304 с.
2. Дубинский Н.А. Влияние режимов электролиза на свойства композиционных материалов, полученных электрохимическим способом //Материалы, технологии, инструменты. – 2001. – Т. 6. – № 2. – С. 77-79.

3. Гурьянов Г.В., Юдина Е.М. Структура и прочность износостойких покрытий //Износостойкость и антифрикционные покрытия. – М.: МДНТП. – 1991. – С. 57-62.
4. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Распределение частиц в композиционных материалах с железной матрицей, полученных электрохимическим способом //Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 4. – С. 5-7.

*Получено 11.10.2002 г.*