

максимальное значение α находится в пределах 15–18°, поэтому для тиристорного преобразователя $\alpha_{\min} = \sim 20^\circ$; $\alpha_{\max} = \sim 160^\circ$. Таким образом, ЭДС двигателя, работающего в генераторном режиме, ограничивается значением 92–94 % максимальной ЭДС преобразователя E_{\max} . Это нужно учитывать при расчете максимальной скорости электропривода, когда работа осуществляется в IV квадранте.

Для изменения знака момента двигателя (реверс двигателя, работа во II и III квадрантах) необходимо изменить направление магнитного потока машины либо полярность на зажимах якоря. Первый способ, наиболее простой, нашел ограниченное применение вследствие большой электромагнитной постоянной времени обмотки возбуждения и усложнения процесса торможения. Он может быть использован в электроприводах механизмов с большой механической инерционностью.

Список использованных источников

1. Фаронов, В. В. Система программирования DELPHI / В. В. Фаронов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.: ил.
2. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2007. – 224 с.

УДК 621.762.274: 534-8

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ДИСПЕРСНОСТЬ ПОРОШКОВ МЕДИ, ПОЛУЧЕННЫХ СОНОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Шут В.Н., д.ф.-м.н., проф., Кузнецов А.А., д.т.н., проф.,
Мозжаров С.Е., ст. преп., Куксевич В.Ф., ст. преп.*

*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены условия проведения и результаты исследований влияния плотности тока на дисперсность порошков меди, полученных соноэлектрохимическим методом. Использование ультразвука при электрохимическом осаждении порошков металлов может быть признано одним из простых, экономических и экологически безопасных способов синтеза ультрадисперсных материалов.

Ключевые слова: плотность тока, ультрадисперсные частицы, соноэлектрохимический метод, наноматериалы.

Нанотехнология – одна из наиболее перспективных и динамично развивающихся областей знаний. Применение наноматериалов в медицине и фармакологии является приоритетным направлением. Такие технологии трансформируют устоявшиеся научные дисциплины и позволяют создавать новые направления исследований.

Ультрадисперсные частицы обладают высокоразвитой активной поверхностью и, как следствие, высокой сорбционной емкостью. Благодаря своим размерам, сопоставимым с размерами клеток (10–100 мкм), вирусов (20–450 нм) и белков (5–50 нм), такие частицы могут приближаться к биообъекту, взаимодействовать и связываться с ним. Интерес к разработке методов синтеза и изучению свойств наночастиц меди обусловлен ее специфическими физическими и химическими свойствами, находящими применение в катализе, оптических, сенсорных и электронных устройствах. Кроме того, медь обладает бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в медицине [1–3]. В связи с этим актуальной задачей является разработка и изучение закономерностей синтеза ультрадисперсных и наноразмерных медных и многокомпонентных порошков, а также исследование их физико-химических свойств и биологической активности. На сегодняшний день существует большое количество методов, позволяющих получить ультрадисперсные порошки металлов: химические, физические, механические. Несмотря на многообразие этих методов поиск простых, экономичных и экологически безопасных способов синтеза ультрадисперсных материалов остается актуальным. Использование ультразвука при электрохимическом осаждении порошков металлов может служить одним из возможных подходов к решению данной задачи [4]. Метод получил название – соноэлектрохимический. В настоящей работе приводятся

результаты исследований влияния плотности тока на дисперсность порошков меди, полученных соноэлектрохимическим методом.

Для получения медных порошков использовалась система, подобная описанной Reisse [4]. В ней имеется два электрода, один из которых служит одновременно и катодом, и источником ультразвука. Анод изготовлен из пластинчатого медного анода АМФ толщиной 4 мм. Алгоритм работы системы заключался в следующем:

- подается короткий импульс тока на катод – в это время идет электролитическое осаждение порошка;
- после выключения электрохимического импульса включается ультразвук – за это время происходит удаление порошка с катода;
- все выключается – происходит стабилизация системы.

Ультразвуковая часть установки разработана на базе генератора УЗГ 1.1 с рабочей частотой 22 кГц. В качестве электросонотрода используется титановый концентратор с площадью рабочего торца $1,3 \text{ см}^2$. Погруженная в раствор цилиндрическая часть концентратора была изолирована. Ванна, в которой происходит процесс, термостатировалась.

На рисунке 1 приведена схема установки. Для электрохимического осаждения меди разработано большое количество электролитов различного состава, которые обычно делят на две группы – простые и комплексные. Из простых наибольшее распространение получили сернокислые электролиты, основными компонентами которых являются сернокислая медь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и серная кислота (H_2SO_4). Такой электролит использовался в наших экспериментах. Объем электролита составлял 100 мл. В качестве органического стабилизатора применялся поливинилпирролидон медицинский (ФС 42-1194-98) с молекулярной массой 8000–35000; соотношение поливинилпирролидон/электролит составляло 5/95.

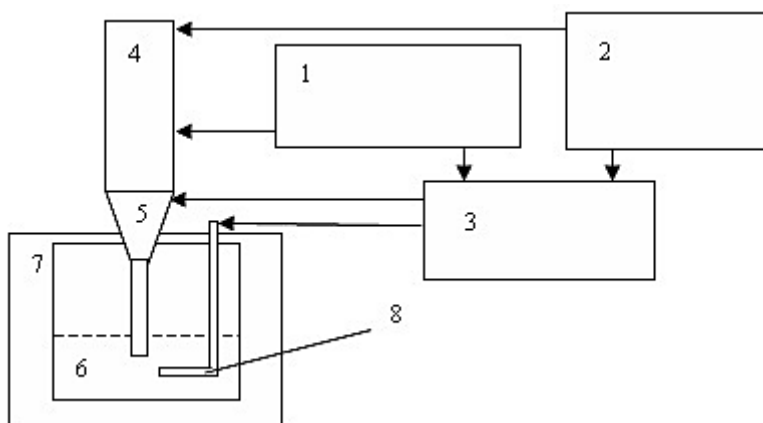


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки: 1 – ультразвуковой генератор, 2 – источник тока, 3 – система управления, 4 – ультразвуковой преобразователь, 5 – соноэлектрод, 6 – электролитическая ванна, 7 – термостат, 8 – анод

Для осаждения и промывки порошков использовалась центрифуга с фактором разделения $F=350$. Анализ размеров частиц порошка проводился с помощью прибора ANALYSETTE 22 MicroTec plus фирмы «FRITSCH».

Известно, что изменение плотности тока может влиять на размер частиц в двух противоположных направлениях [1–5]. Как правило, повышение плотности тока способствует выделению на катоде более дисперсных осадков, поскольку при большей плотности тока на единице площади катода разряжается больше ионов. В связи с этим при фиксированной концентрации катионов в электролите скорость роста каждого из них уменьшается, и получаются более мелкие (дисперсные) осадки. В то же время, при более низких токах, возможно уменьшение размера за счет уменьшения общего количества материала, выделившегося на катоде. В некоторых источниках отмечается, что при низких плотностях тока $50\text{--}200 \text{ mA/cm}^2$ закономерность противоположная. В данной работе мы получали порошки в этом диапазоне плотностей тока с использованием сернокислого электролита. Известно, что масса вещества, осаждённого на электроде при электролизе,

прямо пропорциональна количеству электричества, переданного на этот электрод. Т.е. количество полученного порошка прямо пропорционально силе тока. После осаждения порошков в электролитическую ванну на некотором цикле в дальнейшем осаждаются порошки, получаемые на последующих циклах. Одновременно имеет место частичное растворение уже осажденных порошков. Поэтому время проведения экспериментов должно быть близким. Кроме того, при использовании сонотрода грибовидной формы увеличивается амплитуда ультразвуковых колебаний, что способствует более полному удалению порошка с катода.

На рисунке 2 приведены графики Fritsch-анализа порошков меди, полученных при малых плотностях тока.

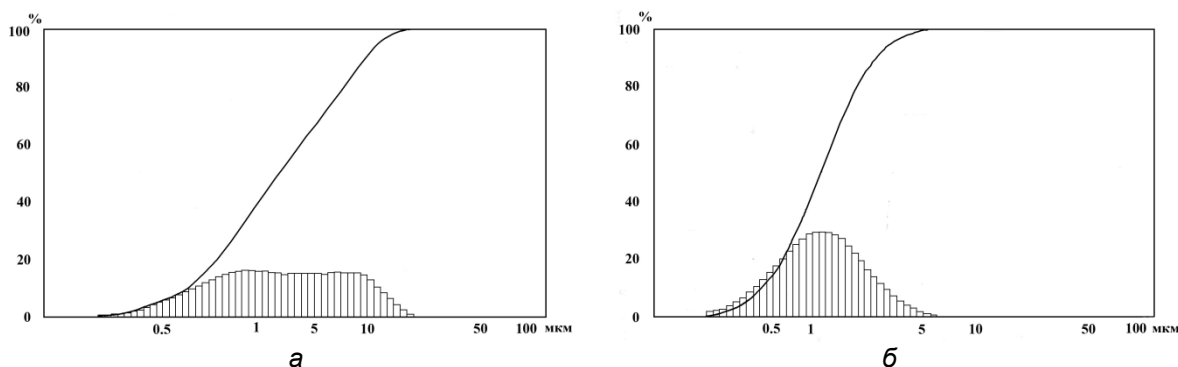


Рисунок 2 – Графики Fritsch-анализа порошков меди, полученных при различных плотностях тока: а) $0,1 \text{ A/cm}^2$; б) $0,2 \text{ A/cm}^2$

Среднеарифметический размер частиц, полученных при $0,1 \text{ A/cm}^2$, составлял $\sim 4,0 \text{ мкм}$; при $0,2 \text{ A/cm}^2$ – $1,3 \text{ мкм}$. Вторая характерная особенность заключается в том, что при уменьшении плотности тока существенно возрастает разброс размеров частиц меди. Этот факт может быть обусловлен различными факторами. Во-первых, при изменении плотности тока может изменяться адгезия материала к сонотроду. Следовательно, сброс вещества при воздействии ультразвука может происходить не при каждом импульсе. Во-вторых, ультрамелкодисперсные и наноразмерные порошки являются более активными. Они склонны к агломерации при нахождении в растворе и образованию более крупных агломератов. Какой из указанных факторов является доминирующим – есть предмет дополнительного исследования.

Заключение. Разработана технологическая оснастка для электросонохимического осаждения ультрамелкодисперсных порошков меди при различных плотностях тока. Получены порошки меди при малых плотностях тока. Показано, что с уменьшением тока имеет место укрупнение дисперсности материала; среднеарифметический размер частиц, полученных при $0,1 \text{ A/cm}^2$, составлял $\sim 4,0 \text{ мкм}$; при $0,2 \text{ A/cm}^2$ – $1,3 \text{ мкм}$.

Список использованных источников

1. Sáez, V., Mason, T.J. (2009), Sonoelectrochemical Synthesis of Nanoparticles, *Molecules* 2009, 14, 4284-4299
2. Haas I., Shanmugam S., and Gedanken A. (2006), Pulsed Sonoelectrochemical Synthesis of Size-Controlled Copper Nanoparticles Stabilized by Poly(N-vinylpyrrolidone), *J. Phys. Chem.*, 2006.
3. Шут, В. Н. Свойства ультрадисперсных медьсодержащих порошков, полученных соноэлектрохимическим методом / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров // *Неорганические материалы*. – 2017. – Т. 53, № 8. – С. 900–906.
4. Reisse, J.; Caulier, T.; Deckerkheer, C.; Fabre, O.; Vandercammen, J.; Delplancke, J.L.; Winand R. (1996), Quantitative sonochemistry, *Ultrason. Sonochem.*, 1996, 3, S147–S151.
5. Bang J.H., Suslick K.S. Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials // *Adv. Mater.* 2010. V. 22. P. 1039–1059.