

УДК 669.268

Установлено переважний розвиток осадів електроосаджуваних металів за краєм катода у напрямку дії відцентрової сили паралельно фронту кристалізації. Одержаний результат доводить достовірність явища електрохімічного фазоутворення металевих матеріалів через стадію рідкого стану

Ключові слова: осад, електроосаджуваний метал, відцентрова сила

Установлено преимущественное развитие осадков электроосаждаемых металлов за краем катода в направлении действия центробежной силы параллельно фронту кристаллизации. Полученный результат доказывает достоверность явления электрохимического фазообразования металлических материалов через стадию жидкого состояния

Ключевые слова: осадок, электроосаждаемый металл, центробежная сила

Primary development of the deposits of metals being electrodeposited beyond the edge of the cathode in the direction of the action of a centrifugal force parallel to the crystallization front is found. The obtained result proves the validity of the phenomenon of electrochemical phase formation of metallic materials through a stage of liquid state

Keywords: deposit, metal being electrodeposited, centrifugal force

РАЗВИТИЕ ОСАДКОВ ЭЛЕКТРООСАЖДАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ ЗА КРАЕМ КАТОДА ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

О.Б. Гирин

Доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой*
Контактный тел.: (0562) 46-13-21, факс: (0562) 47-33-97

E-mail: girin@ua.fm

И.Д. Захаров

Старший научный сотрудник
*Кафедра материаловедения
ГВУЗ "Украинский государственный химико-технологический университет"
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005
Контактный тел.: (056) 753-58-29, факс: (0562) 33-71-36

1. Введение

В работах [1,2] показано, что жидкое состояние электроосаждаемого металлического материала обусловлено очень быстрым (взрывным) характером его выделения вследствие цепной реакции электрохимического образования атомов. При этом в течение одного акта взрывного роста образуется в среднем 40-60 атомов. В связи с очень быстрым протеканием акта взрывного роста (примерно 10^{-7} с) атомы не успевают сформировать структуру с дальним порядком в их расположении. Множество таких кластеров атомов, выделяющихся лавинообразно в различных местах на поверхности катода или растущего осадка, и в дальнейшем объединяющихся в более крупные образования, представляют собой жидкую фазу электроосаждаемого металлического материала.

В работах [3,4] установлены эффекты увеличения плотности электроосаждаемых металлов и волнообразного течения их поверхностных слоев под действием центробежной силы. Полученные результаты доказывают достоверность явления электрохимического фазообразования металлических материалов через стадию жидкого состояния. Данная статья посвящена

дальнейшей экспериментальной проверке справедливости открытого явления.

2. Идея работы

Идея серии экспериментов, направленных на выяснение достоверности рассматриваемого явления, состояла в следующем. Если допустить, что металлический материал в процессе электрохимического осаждения действительно проходит стадию жидкого состояния, то при воздействии на кластеры атомов, которые еще не сформировали пространственную решетку, характерную для кристаллического состояния, центробежной силой параллельно фронту кристаллизации следует ожидать смещения их на некоторое расстояние в направлении действия этой силы.

Вследствие такого смещения будет облегчено объединение кластеров атомов в более крупные образования (так называемые микрокапли), которые сформируют слой жидкой фазы, непрерывно обновляемые в процессе электроосаждения. С увеличением массы и размера жидких слоев сдвиг их в направлении действия центробежной силы будет увеличиваться.

Если обсуждаемое явление справедливо, то при значительной величине центробежной силы, действующей параллельно фронту кристаллизации, следует ожидать смещения жидких слоев к краю катода, потом за край катода и затем за край предыдущих затвердевших слоев электроосаждаемого металла. Это приведет к преимущественному развитию осадка электроосаждаемого металла за краем катода в направлении силового воздействия.

3. Материал и методика исследования

Изучение особенностей развития осадков электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы проводили на образцах меди и никеля. Выбор этих металлов обусловлен необходимостью исключить влияние водорода на структуру образующихся электроосадков.

Для получения образцов электроосажденной меди использовали электролит состава: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 250 г/л, H_2SO_4 – 50 г/л, который применяется для кулометров. В процессе электроосаждения в электролите указанного состава при температуре $t = 18\text{--}27^\circ\text{C}$ и катодной плотности тока $j = 0,5\text{--}1,5$ А/дм² образуются компактные осадки меди при выходе по току металла 100 %. В результате этого при используемом режиме меднения ($t = 25^\circ\text{C}$ и $j = 1$ А/дм²) газовыделение было полностью исключено. В качестве катода использовали тонкие пластины никеля, длительность электроосаждения составляла 60 мин.

Образцы электроосажденного никеля получали в электролите состава: $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 330 г/л, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 50 г/л, H_3BO_3 – 35 г/л. Для предотвращения питтингообразования при длительном электроосаждении (60 мин) в электролит добавляли лаурилсульфат натрия в количестве 0,1 г/л. Никелирование в электролите указанного состава при $t = 25^\circ\text{C}$ и $j = 1$ А/дм² обеспечивало получение компактных электроосадков при выходе по току металла 99,5 %, что свидетельствовало о практически полном предотвращении выделения водорода. Катодом служили тонкие пластины меди и низкоуглеродистой стали.

Конструктивные особенности электрохимической ячейки и ротора центрифуги полностью исключили возможность движения электролита относительно катода в процессе электроосаждения металла [3]. Катод встраивали в ячейку таким образом, чтобы он при вращении ячейки располагался параллельно радиусу ротора. Так как центробежная сила при вращении всегда направлена по радиусу ротора, то при таком расположении катода обеспечивалось силовое воздействие на электроосаждаемый металл параллельно фронту кристаллизации. Длина катода ячейки составляла $5 \cdot 10^{-2}$ м, расстояние от оси центрифуги до дальнего края катода равнялось $12,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Максимальное значение центробежной силы во вращающемся роторе, которое воздействовало на дальний от оси центрифуги край катода (при 3000 об/мин), превышало земное притяжение в 1256 раз, т.е. перегрузка k составляла 1256. Значения центробежной силы изменяли ступенчато, варьируя число оборотов ротора в минуту от 0 до 3000 через каждые

500 об/мин, что соответствовало нормальному ускорению величиной 1g, 35g, 140g, 314g, 558g, 872g и 1256g.

Исследование осадков электроосаждаемой меди и никеля проводили электронно-микроскопическим методом с использованием растрового электронного микроскопа РЭМ-106И. Для изучения особенностей развития осадков готовили шлифы их поперечного сечения вдоль действия центробежной силы. В качестве контрольных образцов использовали осадки меди и никеля, полученные в центрифуге в аналогичных условиях, когда ротор находился в состоянии покоя, т.е. при $k = 1$.

4. Результаты исследования

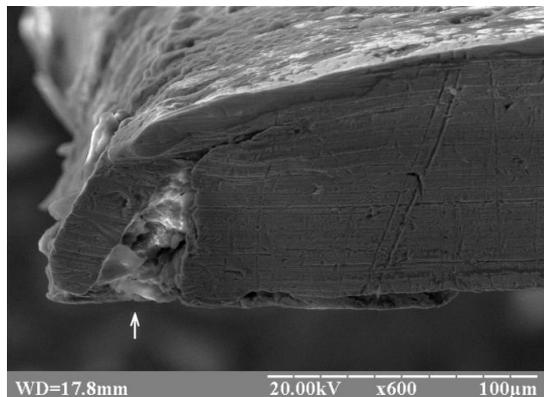
В результате проведенных исследований установили эффект преимущественного развития осадков электроосаждаемых металлов за краем катода в направлении действия центробежной силы параллельно фронту кристаллизации. Так, из рис. 1,а видно, что край осадка меди, полученного при обычных условиях на тонком никелевом катоде, имеет примерно одинаковую толщину на всех его участках. При этом край медного осадка отслоился от торца катода вследствие слабой адгезии (место отслаивания показано стрелкой).

Изображение поперечного сечения края осадка меди, сформированного под влиянием центробежной силы значительной величины (рис. 1,б), также свидетельствует об отслоении края осадка от торца катода (место отслаивания показано стрелкой). Однако форма края этого осадка принципиально отличается от формы края обычного осадка наращиванием его длины более чем на 100 мкм вдоль силового воздействия (рис. 1,б). Этот результат свидетельствует о том, что медный осадок в процессе его электроосаждения развивался под влиянием центробежной силы за краем катода.

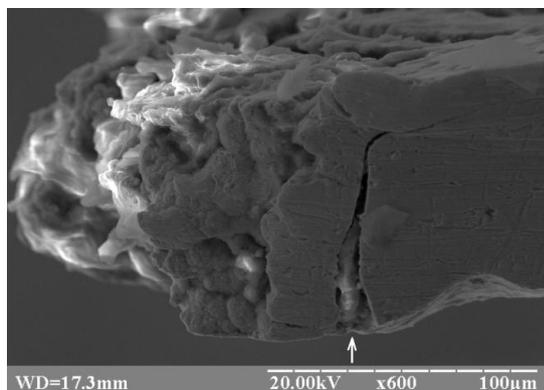
Если сравнивать толщину осадков, электроосажденных в поле центробежной силы, на разных расстояниях от дальнего края катода, то можно убедиться в значительном утолщении осадков в направлении силового воздействия. Так, при обычных условиях электроосаждения толщина медного осадка на разных расстояниях от дальнего края катода практически одинакова и составляет примерно 10 мкм (прямая 1 на рис. 2).

Под действием же центробежной силы электроосаждаемые осадки значительно утолщаются к краю катода в направлении силового воздействия (кривая 2 на рис. 2). Так, если на расстоянии 6800–1840 мкм от дальнего края катода толщина осадка, полученного при перегрузке $k=1256$, составляла всего 1,58–2,55 мкм, то с уменьшением значений l до 800 и 230 мкм осадок утолщался до 4,81 и 9,09 мкм соответственно. А на минимальном расстоянии от дальнего края катода (20 мкм) значение толщины этого осадка вдвое превысило соответствующее значение осадка, полученного в обычных условиях (рис. 2).

Для подтверждения вышеизложенного на рис. 3 показаны поперечные сечения медных осадков на никелевом катоде на разных расстояниях от его дальнего края вдоль действия центробежной силы.

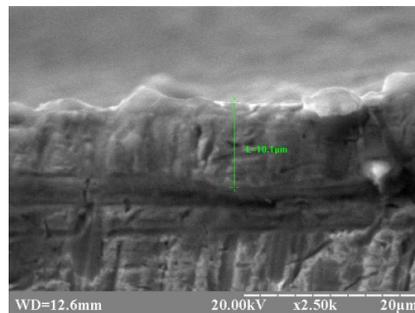


а

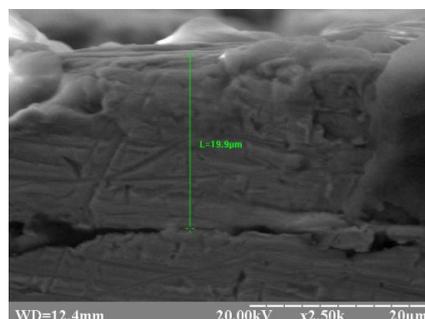


б

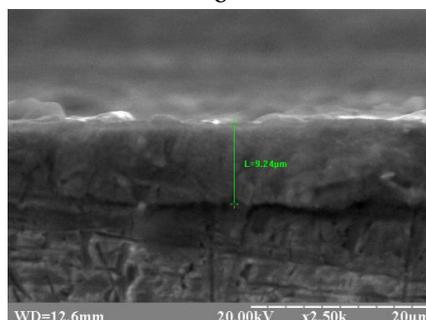
Рис. 1. Растровые электронно-микроскопические изображения поперечного сечения дальнего края медных осадков вдоль действия центробежной силы, пропорциональной ускорению 1g (а) – исходное состояние и 872g (б), иллюстрирующие эффект развития осадков электроосаждаемых металлов за краем катода при силовом воздействии. Сила направлена справа налево



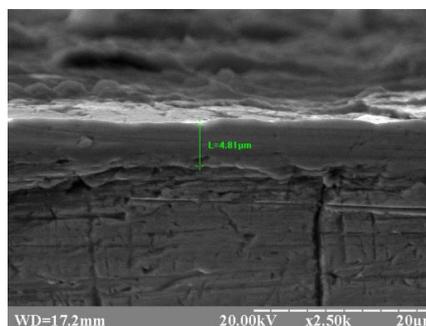
а



б



в



г

Рис. 3. Растровые электронно-микроскопические изображения поперечного сечения медных осадков вдоль действия перегрузки, подтверждающие их утолщение при электроосаждении в направлении действия центробежной силы, пропорциональной ускорению 1g (а,в) – исходное состояние и 1256g (б,г). Расстояние от дальнего края катода составляет 20 мкм (а,б) и 800 мкм (в,г). Сила направлена справа налево

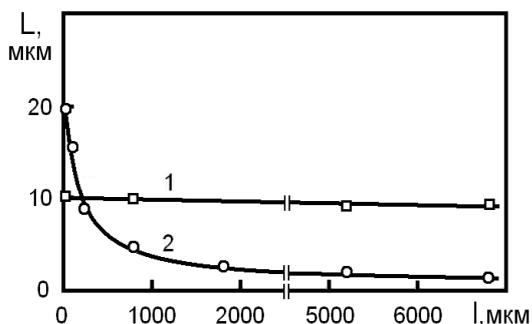


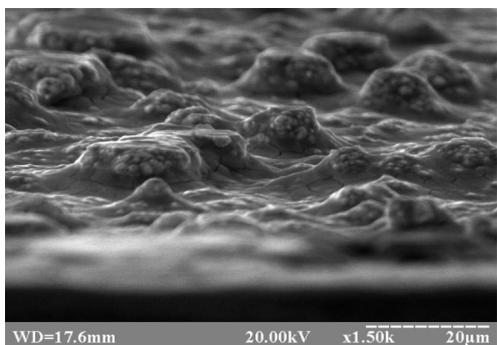
Рис. 2. Изменение толщины осадков электроосажденной меди (L) с увеличением расстояния от дальнего края катода (l). Осадки получены под действием центробежной силы, пропорциональной ускорению 1g (1) – исходное состояние и 1256g (2)

Если сравнивать толщину медных осадков на расстояниях 800 и 20 мкм от дальнего края катода (рис. 3), то можно убедиться, что силовое воздействие в процессе электроосаждения параллельно фронту кристаллизации приводит к утолщению осадка в четыре раза (с 4,81 до 19,9 мкм). В то же время, при обычных условиях электроосаждения толщина осадка в пределах этих расстояний практически одинакова и составляет примерно 10 мкм.

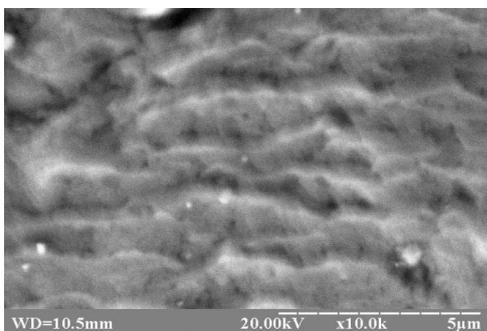
Утолщение электроосаждаемых медных осадков в направлении действия центробежной силы (при $k=1256$ и l от 100 до 6800 мкм) описывается следующим соотношением:

$$L=1450l^{-1+2} \quad (1)$$

Такое гиперболическое утолщение осадков в направлении действия центробежной силы может быть объяснено объединением кластеров атомов, находящихся в жидком состоянии, в микрокапли, которые формируют слои, волнообразно перемещаемые электроосаждаемый металл к краю катода. Так, в качестве примера на рис. 4 показаны металлические волны, сформированные на поверхности осадка электроосаждаемой меди при перегрузке $k = 1256$.



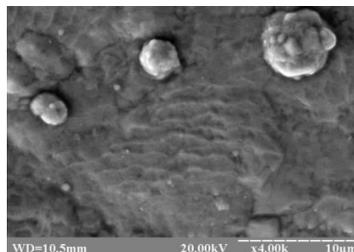
а



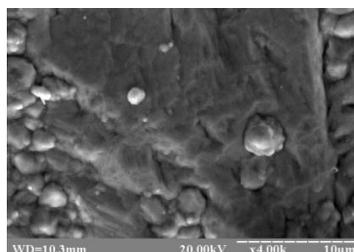
б

Рис. 4. Затвердевшие волны жидкой фазы медного осадка, электроосаждаемого под влиянием центробежной силы, действующей параллельно фронту кристаллизации с ускорением, пропорциональным 1256г: а – вид сбоку (сила направлена справа налево), б – вид сверху (сила направлена сверху вниз)

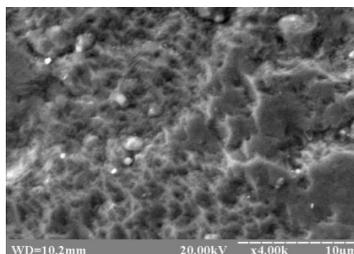
Следует отметить, что волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов, обнаруженное нами ранее [4], является основным движением их жидкой фазы под действием центробежной силы. Тем не менее, помимо волнообразного течения слоев электроосаждаемых металлов (рис. 5,а) наблюдаются наплывы слоев (рис. 5,б), их вспенивание (рис. 5,в) и рябь по их поверхности (рис. 5,г) в зависимости от величины перегрузки.



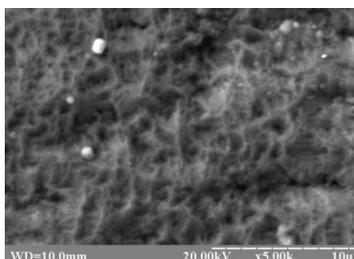
а



б



в



г

Рис. 5. Растровые электронно-микроскопические изображения поверхности осадков меди, электроосаждаемой под действием центробежной силы, демонстрирующие морфологию затвердевшей жидкой фазы в зависимости от величины перегрузки: а и б – перегрузка составляет 1256, в и г – 558. Сила направлена сверху вниз

На рис. 5 видны глобулярные твердые частицы медного осадка, отнесенные под действием центробежной силы к краю катода. С увеличением перегрузки размер частиц, сдвинутых относительно поверхности осадка, значительно возрастает. Вростание частиц в матрицу (рис. 5,а,б) и конфигурация освободившихся мест, ранее занятых такими частицами (рис. 5,б) свидетельствует о затвердевании медной матрицы из жидкого состояния.

Аналогичные результаты были получены и при изучении особенностей развития осадков электроосаждаемого никеля за краем катода в направлении силового воздействия.

Таким образом, преимущественное развитие осадков электроосаждаемых металлов за краем катода в направлении действия центробежной силы параллельно

фронту кристаллизации доказывает достоверность открытого явления.

5. Выводы

1. В результате проведения модельных экспериментов установлено преимущественное развитие осадков электроосаждаемых металлов за краем катода в направлении действия центробежной силы параллельно фронту кристаллизации.

2. Полученный результат доказывает достоверность явления электрохимического фазообразования металлических материалов через стадию жидкого состояния.

Литература

1. Girin, O. B. Phenomenon of Precipitation of Metal Being Electrodeposited, Occurring via Formation of an Undercooled Liquid Metal Phase and its Subsequent Solidification. Part 1. Experimental Detection and Theoretical Grounding [Text] / O. B. Girin // Materials Development and Processing. – Weinheim : WILEY-VCH, 2000. – Vol. 8. – P. 183–188.
2. Гирин, О. Б. Механизм образования жидкой фазы электроосаждаемых металлов [Текст] / О. Б. Гирин, В. П. Хлынцев // Электронная обработка материалов. – 2000. – № 3. – С. 13–18.
3. Гирин, О. Б. Увеличение плотности электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы [Текст] / О. Б. Гирин, И.Д. Захаров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/5. – С. 4–7.
4. Гирин, О. Б. Волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы [Текст] / О. Б. Гирин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/5. – С. 21–25.

УДК 621.374

ВЛИЯНИЕ ЭМП ДЛЯ УГНЕТЕНИЯ В ПОЧВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕДИТЕЛЕЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ

А. В. Козак

Ассистент

Кафедра «Энергетика и электротехнические системы в АПК»

Подольский государственный аграрно-технический университет

ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300

Контактный тел.: (057) 712-42-32

Вирішено електродинамічне завдання за визначенням параметрів імпульсних сигналів для знищення шкідників кореневої системи саджанців плодкових культур

Ключові слова: біологічні шкідники, коренева система саджанців

Решена электродинамическая задача по определению параметров импульсных сигналов для уничтожения вредителей корневой системы саженцев плодовых культур

Ключевые слова: биологические вредители, корневая система саженцев

The electrodynamic problem of determining the parameters of pulse signals for the pests destruction of root system of seedlings of fruit crops is solved

Keywords: biological pest, root system of seedlings

1. Введение

Установлено, что в садоводстве потери урожая и снижение его качества, причиняемые вредными насекомыми и клещами, пока еще велика [1]. Кроме того, почвенные насекомые, повреждая и проникая в корне-

вую систему саженцев, вызывают грибковые и инфекционные заболевания корневой системы [1].

В настоящее время для борьбы с вредителями корневой системы плодовых культур применяют, в основном, ядохимикаты [1]. Применение ядохимикатов для уничтожения почвенных вредителей корневой