

Установлена хвилеподібна течія поверхневих шарів електроосаджуваних металів під дією відцентрової сили, спрямованої паралельно фронту кристалізації, а також вигинання хвиль механічними перепонами та виникнення піни на гребнях хвиль

Ключові слова: хвилеподібна течія, електроосаджуваний метал, відцентрова сила

Установлено волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы, направленной параллельно фронту кристаллизации, а также выгибание волн механическими препятствиями и возникновение пены на гребнях волн

Ключевые слова: волнообразное течение, электроосаждаемый металл, центробежная сила

Wavelike flow of surface layers of metals being electrodeposited under the influence of a centrifugal force acting parallel to the crystallization front, as well as bending of waves by mechanical hindrances and appearance of foam on the crests of waves are found

Keywords: wavelike flow, metal being electrodeposited, centrifugal force

ВОЛНООБРАЗНОЕ ТЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЭЛЕКТРООСАЖДАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ

О. Б. Гирин

Доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой

Кафедра материаловедения

Украинский государственный химико-технологический университет

пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005

Контактный тел.: (0562) 46-13-21

E-mail: girin@ua.fm

1. Введение

Выяснение достоверности явления электрохимического фазообразования металлических материалов через стадию жидкого состояния является в последнее время предметом многочисленных публикаций [1-5]. Данная статья является очередной работой в этом направлении и посвящена дальнейшему экспериментальному доказательству справедливости открытого явления.

2. Идея работы

Идея серии экспериментов, направленных на доказательство достоверности обсуждаемого явления, заключалась в следующем. Известно, что жидкий металлический материал в отличие от твердого обладает способностью течь, т.е. перемещать свою массу в направлении действия приложенной силы [6].

Поэтому, если металлический материал в процессе электрохимического осаждения действительно проходит стадию жидкого состояния, то при воздействии на него центробежной силой параллельно фронту кристаллизации следует ожидать перемещения его массы путем волнообразного течения постоянно обновляемых жидких поверхностных слоев. Действительно, силовое воздействие на непрерывно образующиеся жидкие поверхностные слои электроосаждаемого материала обусловит колебательное движение жидкой

поверхности, что в свою очередь приведет к формироваться волн.

3. Материал и методика исследования

Исследования проводили на образцах меди и никеля, электроосажденных в поле центробежной силы по режимам, описанным в работе [7]. Центробежную силу, пропорциональную нормальному ускорению kg (где k – коэффициент перегрузки), изменяли соответственно значениям kg от 1g до 1256g.

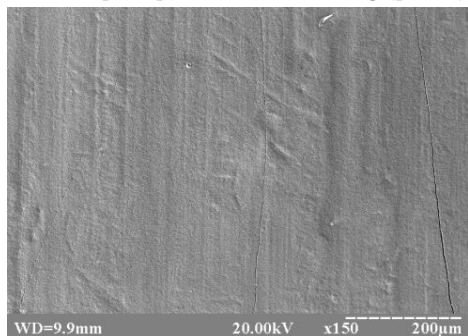
Катод закрепляли в ячейке параллельно ее оси, поэтому при вращении ячейки катод располагался параллельно радиусу ротора, что обеспечивало силовое воздействие на электроосаждаемый металл параллельно фронту кристаллизации.

Вследствие выхода металла по току 99,5-100 % и невозможности движения электролита относительно катода в ячейке в процессе электроосаждения [7] было полностью исключено влияние выделения водорода и движения электролита на морфологию поверхности осаждаемых образцов.

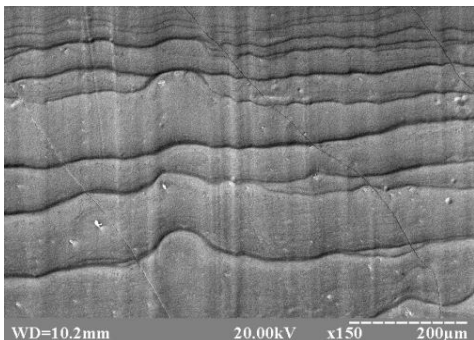
4. Результаты исследования

В результате проведенных исследований установили эффект волнообразного течения поверхностных слоев электроосаждаемых металлов в направлении

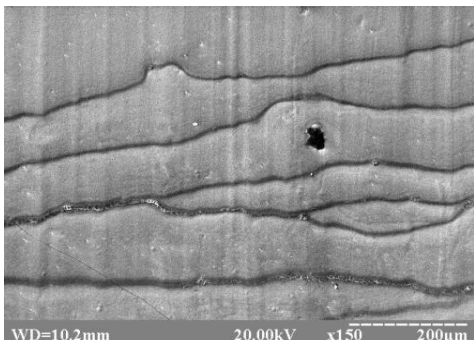
действия центробежной силы. Особенно отчетливо затвердевшие волны зафиксированы на поверхности никелевых электроосадков, полученных при силовом воздействии, пропорциональном 1256g (рис. 1).



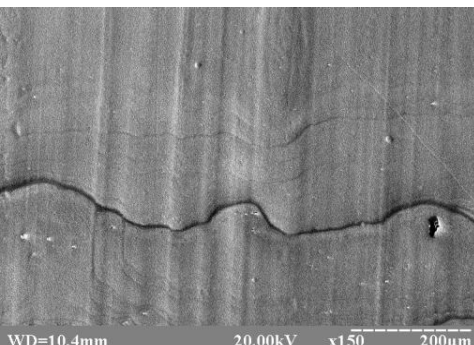
а



б



в



г

Рис. 1. Растровые электронно-микроскопические изображения никелевых осадков, демонстрирующие волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемого никеля под действием центробежной силы, пропорциональной ускорению величиной 1g (а — исходное состояние) и 1256g (б-г). Сила направлена сверху вниз

Так, если при отсутствии центробежной силы поверхность никелевых осадков является гладкой и не содержит волнообразных форм (рис. 1,а), то в результате значительной перегрузки поверхность осадков электроосажденного никеля состоит из затвердевших волн (рис. 1,б-г). Такая морфология поверхности является следствием затвердевания поверхностных слоев электроосаждаемого никеля, находящихся в жидком состоянии и участвующих в волнообразном движении под действием центробежной силы, направленной параллельно фронту кристаллизации.

Волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов имеет две характерные особенности. Во-первых, металлические волны выгибаются макроскопическими дефектами в виде твердых включений (рис. 1,б) или сквозных пор (рис. 1,в,г). Такое выгибание волн механическими препятствиями характерно для жидкого материала, имеющего высокую вязкость. Если бы электроосаждаемый материал находился только в твердом состоянии (например, в виде мелкодисперсных твердых частиц), то в этом случае поры были бы заполнены частицами, а вокруг твердых включений имелись бы углубления вследствие вихреобразного движения частиц.

На рис. 2 представлены типичные изображения металлических волн, претерпевших выгибание сквозной порой и твердым включением, а также строение волн вблизи указанных препятствий. Как видно из рис. 2, волнообразные участки материала имеют вид полукруглых террас и состоят из частиц глобулярной формы, представляющих, по-видимому, затвердевшие кластеры или объединения кластеров материала. Следует отметить, что скопления волн вблизи механических препятствий могут приводить к локальным изменениям толщины осадков и как следствие к неравномерности осадков по толщине.

Другим характерным признаком, подтверждающим происхождение волнообразных форм путем затвердевания металлической жидкости,

движущейся под действием центробежной силы, является образование пены на гребнях волн. Так, на рис. 2,а,б видны участки застывшей пены, которая была образована на гребнях волн вследствие механического диспергирования металлической жидкости при силовом воздействии на нее.

Поскольку при небольшой величине центробежной силы затвердевшие волны имели широкие гребни, морфологию участков пены изучали на образцах никелевых осадков, полученных при небольшом силовом воздействии (пропорциональном 35g и 140g). Как следует из рис. 3, застывшая пена представляет собой стекловидные образования различной конфигурации, слабо сцепленные с основой. Так, на рис. 3,в,г хорошо видны участки гребней волн никелевых осадков с частично отвалившимися фрагментами затвердевшей пены вследствие ее растрескивания. Слой стекловидной пены является достаточно тонким, позволяющим видеть сквозь него строение покрытия (рис. 3,д,е).

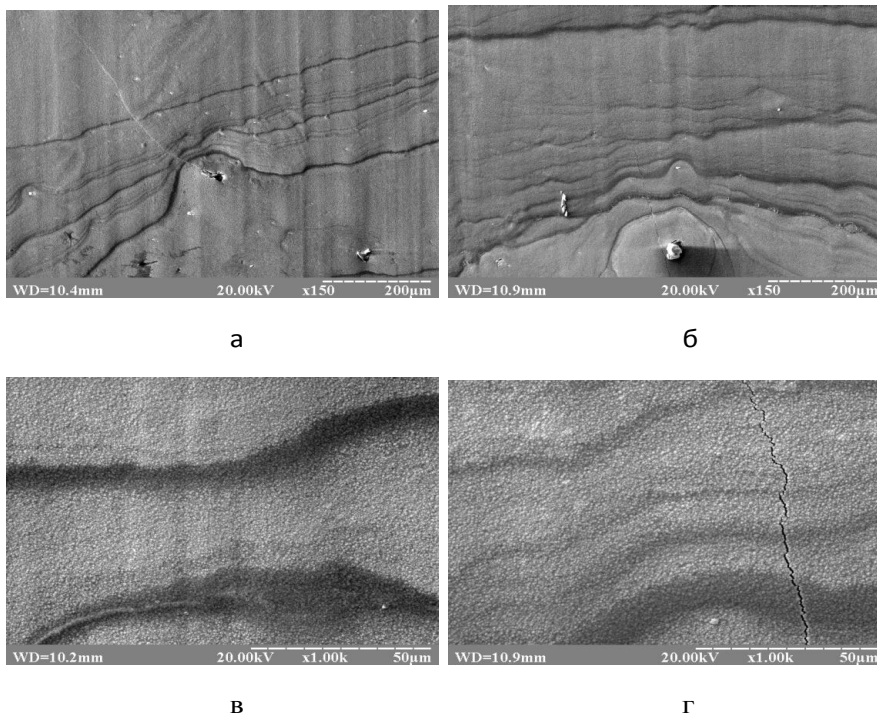


Рис. 2. Растровые электронно-микроскопические изображения никелевых электроосадков, показывающие волны, которые выгибаются порой (а,в) и включениями (б,г). Сила, пропорциональная ускорению величиной 1256g, направлена сверху вниз

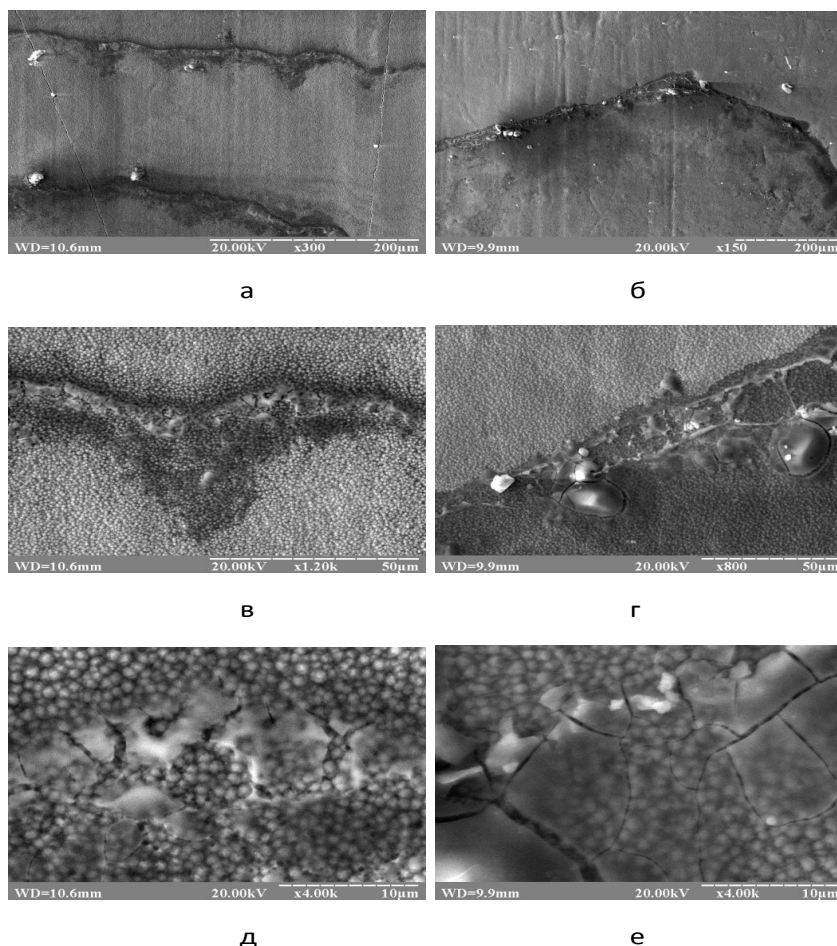


Рис. 3. Растровые электронно-микроскопические изображения никелевых электроосадков с фрагментами затвердевшей пены на гребнях волн. Сила, пропорциональная ускорению величиной 35g (а,в,д) и 140g (б,г,е), направлена сверху вниз

На рис. 4 представлены три фрагмента затвердевшей пены на гребне одной большой волны, подтверждающие жидкое состояние электроосаждаемого никеля. Левая (рис. 4,а,б) и правая (рис. 4,д,е) части гребня волны, а также его центральная часть (рис. 4,в,г) убедительно доказывают наличие пены, образованной при волнообразном течении жидкого поверхностного слоя электроосаждаемого никеля и застывшей в результате очень быстрого его затвердевания. В самом деле, если допустить, что волнообразное течение поверхностного слоя электроосаждаемого металла под действием центробежной силы обусловлено перемещением дисперсных твердых частиц, то помимо отсутствия пены металл по окончании процесса должен находиться не в монолите, а в порошкообразном состоянии.

Различия в конфигурации металлических волн электроосаждаемой меди и никеля под действием центробежной силы обусловлены, прежде всего, более крупнозернистой структурой меди (рис. 5). Вместе с тем, основные признаки прошедшего жидкого состояния электроосажденной меди сохраняются. Это, во-первых, волнообразное течение ее поверхностных слоев (рис. 5,а,в), во-вторых, выгибание волн механическими препятствиями (в виде крупных глобул или их скоплений) (рис. 5,а,б) и, в-третьих, возникновение на гребнях волн пены, затвердевшие фрагменты которой видны на рис. 5,б,г.

Одним из результатов, доказывающих достоверность обсуждаемого явления, является обнаруженный на поверхности медного электроосадка участок застывшей пены в виде волны (рис. 6,а). Фрагменты разных участков этой волны из пены, представленные на рис. 6,б-г, наглядно демонстрируют следствия прохождения электроосаждаемой медью стадии жидкого состояния.

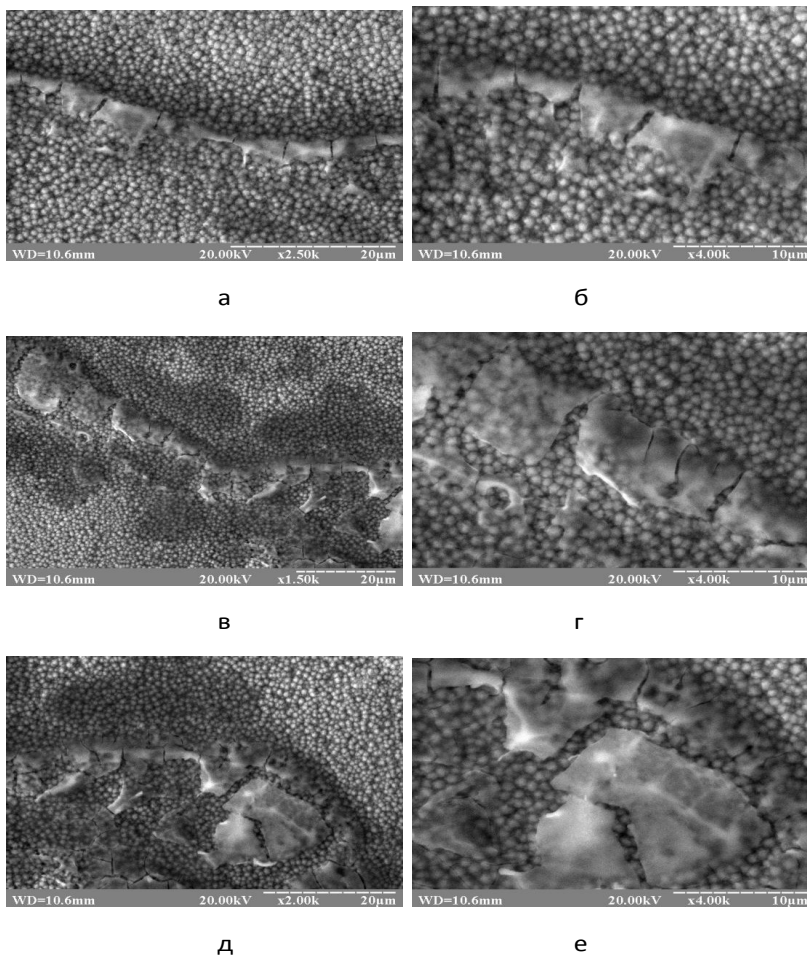


Рис. 4. Растровые электронно-микроскопические изображения никелевого электроосадка, иллюстрирующие различные участки застывшей пены на гребне одной волны. Сила, пропорциональная ускорению величиной 35g, направлена сверху вниз

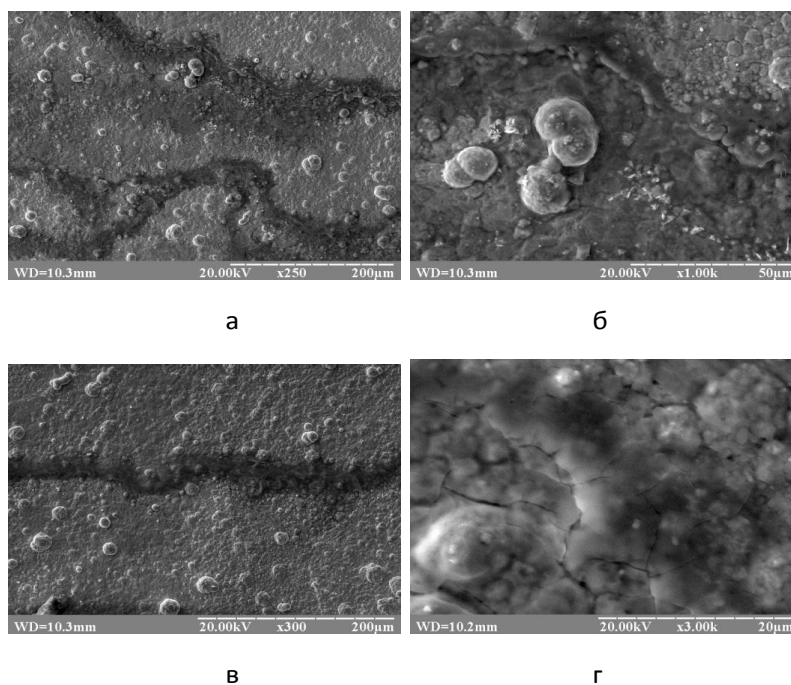


Рис. 5. Растровые электронно-микроскопические изображения медных осадков, показывающие основные признаки прошедшего жидкого состояния электроосажденной меди. Сила, пропорциональная ускорению величиной 35g (а,б) и 140g (в,г), направлена сверху вниз

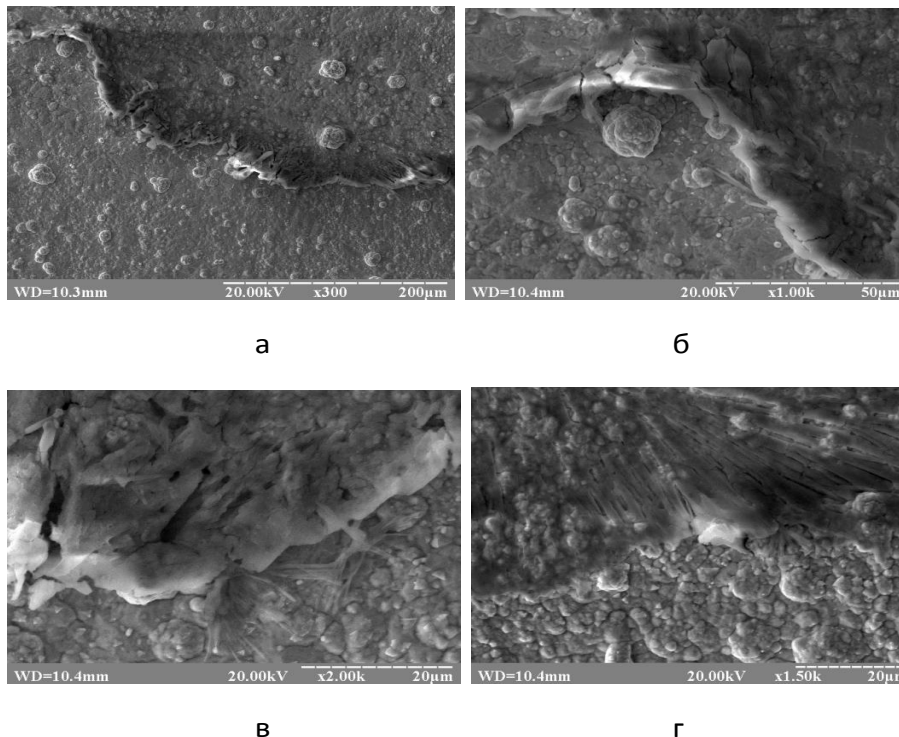


Рис. 6. Растровые электронно-микроскопические изображения медного электроосадка, демонстрирующие застывшую пену в виде волны (а) и фрагменты разных ее участков (б-г). Сила, пропорциональная ускорению величиной 314g, направлена сверху вниз

Таким образом, волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов под

действием центробежной силы, направленной параллельно фронту кристаллизации, а также выгибание волн механическими препятствиями и возникновение пены на гребнях волн доказывают достоверность открытого явления.

5. Выводы

1. На основании модельных экспериментов установлено волнообразное течение поверхностных слоев электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы, а также выгибание волн механическими препятствиями и возникновение пены на гребнях волн.

2. Полученные результаты доказывают достоверность явления электрохимического фазообразования металлических материалов через стадию жидкого состояния.

Литература

1. Girin, O. B. Phase and Structure Formation of Metallic Materials Electrodeposited via a Liquid State Stage: New Experimental Proof [Text] / O. B. Girin // Defect and Diffusion Forum. – 2010. – V.303-304. – P.99–105.
2. Гирин, О. Б. Формирование интерметаллидов в металлических сплавах при электрохимической кристаллизации [Текст] / О. Б. Гирин, И.Д. Захаров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/5. – С. 63–65.
3. Гирин, О. Б. Карбидообразование в электроосаждаемых металлах, легированных углеродом [Текст] / О. Б. Гирин, М.Т. Величко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/1. – С. 18–21.
4. Гирин, О. Б. Образование эвтектик при электрокристаллизации металлических сплавов [Текст] / О. Б. Гирин, А. П. Клименко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/5. – С. 15–17.
5. Гирин, О. Б. Возникновение химических соединений на границе между электроосаждаемым металлом и катодом [Текст] / О. Б. Гирин, М. Т. Величко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 1/8. – С. 25–28.
6. Оно, А. Затвердевание металлов [Текст] / А. Оно ; пер. с англ. Э. В. Захарченко. – М. : Металлургия, 1980. – 152 с.
7. 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. 4–6.