

# ОСОБЕННОСТИ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРО- ОСАЖДЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**О. Б. Гирин**

Доктор технических наук, профессор, проректор  
по научной работе, заведующий кафедрой  
Кафедра материаловедения\*  
Контактный тел.: (0562) 46-13-21  
E-mail: girin@ua.fm

**А. Л. Чуприна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
Кафедра химического машиностроения  
Контактный тел.: (056) 753-58-10  
E-mail: allvch@mail.ua  
\*Украинский государственный химико-  
технологический университет  
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск,  
Украина 49005

*Пориста структура електроосадженого матеріалу має усі характерні особливості пористої структури литого матеріалу, затверділого із рідкого стану у насиченому середовищі водню. Ідентичність орієнтації та форми пор в електроосадженому і литому матеріалах, ефекти коагуляції пор, припинення росту пор та зародження нових пор підтверджують справедливість явища фазоутворення електроосаджуваних матеріалів через стадію рідкого стану*

*Ключові слова: пориста структура, електроосаджений матеріал, литий матеріал, водень*

*Пористая структура электроосажденно-го материала имеет все характерные особенности пористой структуры литого материала, затвердевшего из жидкого состояния в насыщенной среде водорода. Идентичность ориентации и формы пор в электроосажденном и литом материалах, эффекты коагуляции пор, прекращения роста пор и зароджения новых пор подтверждают справедливость явления фазообразования электроосаждаемых материалов через стадию жидкого состояния*

*Ключевые слова: пористая структура, электроосажденный материал, литой материал, водород*

## 1. Введение

В работе [1] выявлено образование в электроосаждаемых металлах высокодефектной кристаллической структуры, отвечающей металлам, закаленным из жидкого состояния, и установлены закономерные изменения характеристик дефектов кристаллического строения металлов с увеличением степени переохлаждения при их электроосаждении. Полученные результаты подтверждают достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния [2,3].

Цель данной работы состояла в дальнейшей экспериментальной проверке достоверности открытого явления.

## 2. Идея работы

Известно, что в результате кристаллизации литейного расплава в насыщенной среде водорода в затвердевающей слитке возникают поры вследствие выделения водорода, растворенного в металлической жидкой фазе [4]. Эти поры имеют вытянутую форму в направлении, перпендикулярном фронту кристаллизации, и могут коагулировать на всем периоде кристаллизации слитка [5].

С другой стороны, фазообразование электроосаждаемого материала также происходит в насыщенной среде водорода [6]. Следовательно, в случае справедливости обсуждаемого явления пористая структура

электроосажденного материала должна иметь характерные особенности, присущие пористой структуре литого материала, затвердевшего из жидкого состояния в насыщенной среде водорода.

## 3. Материал и методика исследования

Для проверки вышеизложенной идеи в качестве модельного электроосажденного материала использовали хром, электроосажденный в универсальном электролите при плотности тока  $60 \text{ А/дм}^2$  и температурах 45 и 50 °С. Выбор хрома обусловлен тем, что этот металл электроосаждается при очень малом выходе по току (13-18 %), т.е. примерно 85 % электричества расходуется на выделение водорода. Причем с понижением температуры электрохимического хромирования выход хрома по току уменьшается.

Расчеты показали, что при электроосаждении хрома объем водорода, выделяющегося на катоде, более чем в 60 тысяч раз превышает объем электроосаждаемого металла. Это свидетельствует о том, что фазообразование электроосаждаемого хрома действительно происходит в насыщенной среде водорода. Причем выделяющийся на катоде осадок представляет собой не чистый хром, а твердый раствор водорода в хrome. Учитывая, что фазообразование электроосаждаемых металлов происходит, как правило, в насыщенной среде водорода, их следует классифицировать не как металлы, а как металлические материалы.

Микроструктурные исследования поперечного сечения образцов проводили с использованием структурного анализатора EPIQUANT. Для корректного сравнения пористой структуры электроосажденного и литого материалов, сформированных в среде водорода, необходимо было обеспечить примерно похожие условия их фазообразования.

Согласно открытому явлению [2,3], фазообразование электроосаждаемых металлических материалов происходит в результате очень быстрого затвердевания непрерывно обновляемых кластеров атомов, находящихся в жидком состоянии на плоском фронте кристаллизации. Поэтому для максимального сближения условий фазообразования материалов при электроосаждении и при литье необходимо было сконструировать и изготовить такую установку для получения литых материалов в насыщенной среде водорода, чтобы их затвердевание осуществлялось при высокой регулируемой скорости движения плоского фронта кристаллизации.

Для осуществления поставленной задачи сконструировали и изготовили индукционно-дуговую установку, схема которой представлена на рис. 1.

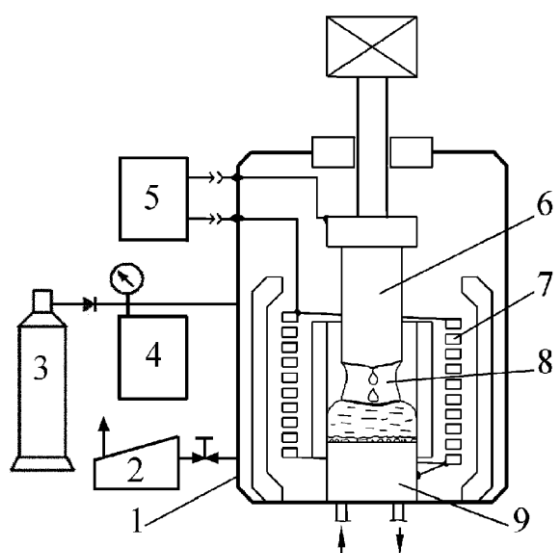


Рис. 1. Схема индукционно-дуговой установки для получения пористых литых материалов в среде водорода: 1 – реакционная камера; 2 – система вакуумирования; 3 – система подачи водорода; 4 – система контроля и регулирования давления; 5 – источник переменного тока повышенной частоты; 6 – плавящийся электрод - заготовка с приводом автоматической подачи; 7 – индуктор; 8 – зона плавления заготовки в электрической дуге; 9 – водоохлаждаемый холодильник-кристаллизатор. Стрелками показан подвод и отвод воды

К герметичному корпусу реакционной камеры подсоединены система вакуумирования, система подачи водорода и система контроля и регулирования давления. Эти системы предназначены для экстракции атмосферных газов из объема реакционной камеры, обеспечения необходимого состава газовой среды в реакционном объеме и поддержания заданного давления во время плавления и кристаллизации слитка.

Литой материал получали из заготовки, нагреваемой с помощью индуктора и плавящейся в электрической дуге. После расплавления заданного количества материала плавку прекращали и на донном водоохлаждаемом кристаллизаторе формировали слиток (рис. 1). В качестве модельного литого материала применили алюминиевую бронзу (8,5 % Al), расплавленную и затвердевшую в среде водорода при давлении 0,6 Мпа и скорости движения плоского фронта кристаллизации 1,0 и 1,3 мм/с.

#### 4. Результаты исследования

В результате проведенных исследований установили наличие высокопористой структуры в образцах электроосажденного материала (рис. 2). Такая структура характеризуется наличием анизотропных пор, вытянутых в направлении, перпендикулярном фронту кристаллизации. Причем с увеличением степени насыщения водородом пористость электроосажденного материала усиливается.

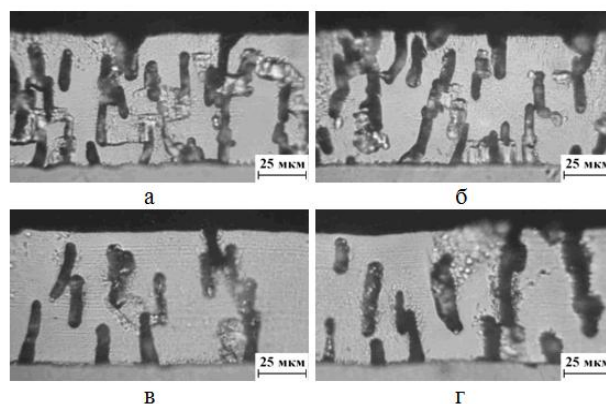


Рис. 2. Микроструктуры поперечного сечения образцов хрома, электроосажденного в универсальном электролите при плотности тока  $60 \text{ А/дм}^2$  и температурах 45 (а,б) и 50 °С (в,г)

К особенностям пористой структуры электроосажденного материала следует также отнести наличие сквозных каналов, состоящих из нескольких объединенных пор, а также уменьшение среднего диаметра пор с увеличением степени водородонасыщения.

Как видно из рис. 3, поры литого материала, затвердевшего в насыщенной среде водорода при высокой скорости движения плоского фронта кристаллизации (1,0-1,3 мм/с), также имеют анизотропную форму и ориентированы в направлении, перпендикулярном фронту кристаллизации. Из сравнения рис. 2 и 3 видно, что в электроосажденном материале сформирована пористая структура, аналогичная по форме и ориентации пор структуре, возникшей при затвердевании расплава в насыщенной среде водорода.

В работе [5] представлена классификация особенностей пористой структуры газоармированных литых материалов, которые образуются при кристаллизации сплавов систем металл-водород путем одновременного выделения из металлической жидкости кристалла и

газа (водорода) в результате газозвтектического пре- вращения. Такими особенностями являются:

- прекращение роста пор и зарождение новых пор;
- коагуляция (слияние) пор на всем периоде кристаллизации;
- ориентация пор перпендикулярно фронту кристаллизации и форма пор в виде цилиндров или эллипсов.

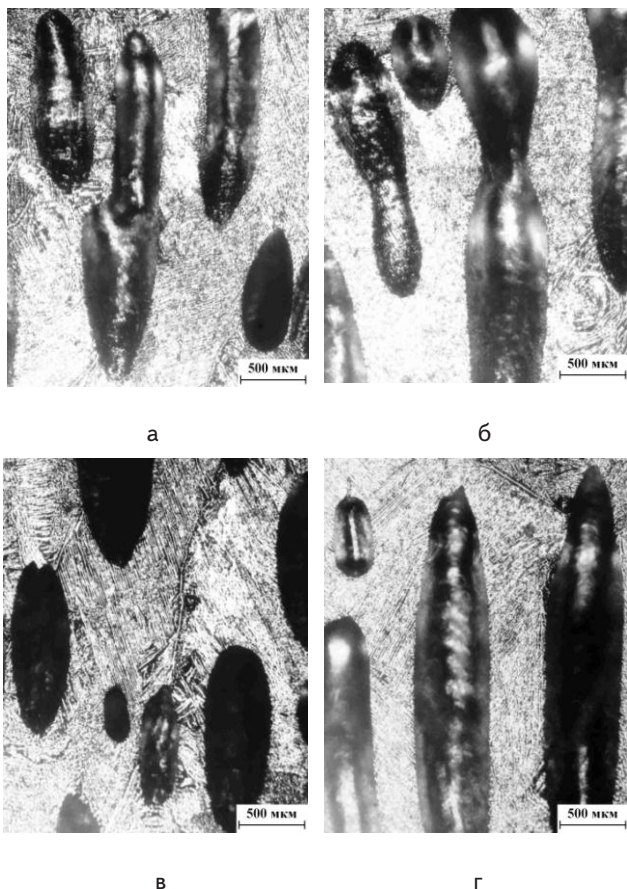


Рис. 3. Микроструктуры поперечного сечения образцов алюминиевой бронзы (8,5 % Al), расплавленной и затвердевшей в атмосфере водорода при давлении 0,6 Мпа и скорости движения плоского фронта кристаллизации 1,0 (а,б) и 1,3 мм/с (в,г)

Из рис. 2 видно, что все перечисленные особенности пористой структуры газозармированных литых материалов характерны и для пористой структуры электроосажденного материала. Так, по мере движения фронта кристаллизации при электроосаждении наблюдается как прекращение роста пор, так и зарождение новых пор (рис. 2).

Коагуляция соседних пор на всем периоде затвердевания наглядно демонстрируется на примере сквозных каналов, образованных путем коагуляции четырех-пяти пор (рис. 2а,в). Как справедливо отмечено в работе [5], в результате такой многократной коагуляции появляются крупные бесформенные поры, какие и наблюдаются на рис. 2. В работе [5] подчеркивается, что особенно важен этот процесс для систем металл – водород с большой разницей растворимости водорода в жидком и твердом металле (например, для системы хром – водород).

Пористая структура электроосажденного материала характеризуется наличием пор, имеющих цилиндрическую или эллипсообразную форму и ориентированных в направлении, перпендикулярном фронту кристаллизации (рис. 2). Отклонения от параллельности в росте пор автор работы [5] связывает с появлением выпуклых или вогнутых участков на фронте кристаллизации, поскольку вектор скорости роста поры всегда направлен перпендикулярно фронту кристаллизации в месте ее образования. Действительно, как видно из рис. 2г, отклонение поры от нормали к поверхности осадка обусловлено выпуклым участком на фронте кристаллизации.

Таким образом, пористая структура электроосажденного материала имеет все особенности, характерные для пористой структуры литого материала, затвердевшего из жидкого состояния в насыщенной среде водорода. Идентичность ориентации и формы пор в электроосажденном и литом материалах, эффекты коагуляции пор, прекращения роста пор и зарождения новых пор на всем периоде кристаллизации при электроосаждении подтверждают справедливость явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния.

## 5. Выводы

1. Установлено, что пористая структура электроосажденного материала имеет все характерные особенности пористой структуры литого материала, затвердевшего из жидкого состояния в насыщенной среде водорода.
2. Идентичность ориентации и формы пор в электроосажденном и литом материалах, эффекты коагуляции пор, прекращения роста пор и зарождения новых пор на всем периоде кристаллизации при электроосаждении подтверждают справедливость явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния.

## Литература

1. Гирин, О. Б. Особенности образования дефектов кристаллического строения электроосаждаемых металлов [Текст] / О. Б. Гирин, И. М. Ковенский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/5. – С. 44–47.
2. Girin, O. B. Phase Transformations in the Metallic Materials being Electrodeposited and Their Application for the Development of Advanced Technologies for Anticorrosive Protection of Canned-Food Steel Sheet [Text] / O. B. Girin // Materials Science Forum. – 2007. – Vol. 561-565. – P. 2369-2372.

3. Girin, O. V. Phase and Structure Formation of Metallic Materials Electrodeposited via a Liquid State Stage: New Experimental Proof [Text] / O. V. Girin // Defect and Diffusion Forum. – 2010. – Vol. 303-304. – P. 99–105.
4. Шаповалов, В. И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов [Текст] : монография / В. И. Шаповалов. – М. : Металлургия, 1982. – 232 с.
5. Шаповалов, В. И. Закономерности формирования структуры газозармированных материалов – газаров [Текст] / В. И. Шаповалов // Теория и практика металлургии. – 1997. – № 2. – С. 13–18.
6. Поветкин, В. В. Структура электролитических покрытий [Текст] : монография / В. В. Поветкин, И. М. Ковенский. – М. : Металлургия, 1989. – 136 с.

### Abstract

*The aim of the work was the experimental proof of the validity of the phenomenon of phase formation of metallic materials being electrodeposited through a stage of liquid state. The idea of the work was as follows. As phase formation of a material being electrodeposited occurs in saturated hydrogen environment, in case of validity of the discussed phenomenon porous structure of an electrodeposited material must have typical features of porous structure of a cast material solidified from liquid state in saturated hydrogen environment.*

*To realize the idea an inductive arc unit, which allows obtaining of a cast material in saturated hydrogen environment, was constructed and produced. The unit provided solidification of a material at high adjustable rate of movement of plane crystallization front. As modeling materials the electrodeposited chromium and aluminum bronze melted and solidified in hydrogen environment were used.*

*As a result of the completed investigations it was found, that porous structure of an electrodeposited material possesses all typical features of porous structure of a cast material solidified from liquid state in saturated hydrogen environment. The identity of orientation and form of pores in an electrodeposited and in a cast material, the effects of pores coagulation and termination of pores growth and new pores initiation during the whole crystallization period at electrodeposition prove the validity of the phenomenon of phase formation of metallic materials being electrodeposited through a stage of liquid state*

**Keywords:** porous structure, electrodeposited material, casting material, hydrogen

**Викладені основні технологічні і методологічні основи получения гнучкої черепиці з використанням гумової крихти продукту механічної переробки зношених автошин. Встановлені оптимальні рецептурні і технологічні параметри виробництва черепиці**

**Ключові слова:** зношені автошини, продукти переробки, гума крихта, гнучка черепиця, міцність

**Изложены основные технологические и методологические основы получения гибкой черепицы с использованием резиновой крошки-продукта механической переработки изношенных автошин. Установлены оптимальные рецептурные и технологические параметры производства черепицы**

**Ключевые слова:** изношенные автошины, продукты переработки, резиновая крошка, гибкая черепица, прочность

УДК 691.424:678

## ГИБКАЯ ЧЕРЕПИЦА НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ РЕЗИНЫ

**В.С. Демьянова**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующая кафедрой\*  
Контактный тел.: 8(8412) 67-00-74,  
8-927-377-56-35, 8(8412) 92-95-01  
E-mail: ie@pguas. Ru

**А.Д. Гусев**

Аспирант  
Контактный тел.: 8(8412) 92-95-01,  
8-964-865-99-69

E-mail: eco.penza@mail.ru

\*Кафедра «Инженерная экология»  
Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
ул. Г. Титова, 28, г. Пенза, Россия, 440028

В настоящее время в промышленно-развитых странах реализуется концепция «промышленного метабо-

лизма», основанная на повторном вовлечении отходов в промышленное производство [1,2,3].