

УДК 669.15-192.017:621.357.7

**СТРУКТУРА ЭЛЕКТРООСАЖДЕННОГО ЖЕЛЕЗА,  
ЛЕГИРОВАННОГО МАРГАНЦЕМ**

**Е. В. Колесник, к. т. н., доц., И. Д. Захаров, с. н. с.**

*ГВУЗ “Украинский государственный химико-технологический университет”*

**Актуальность темы и состояние вопроса.** Восстановление размеров деталей машин, изношенных в процессе эксплуатации, осуществляется при помощи электроосажденного железа, обеспечивающего также дополнительное поверхностное упрочнение восстанавливаемых металлоизделий [1; 2]. Для усиления эффекта поверхностного упрочнения возможно осаждение легированного железа с применением в качестве легирующих элементов хрома, никеля, марганца, бора и др. [1–3]. Особый интерес представляет получение электроосажденного железа, легированного марганцем [2; 4], в связи со сравнительно экологической безопасностью, доступностью и невысокой стоимостью последнего. Тем не менее, вопросу электроосаждения сплавов железо – марганец посвящено сравнительно небольшое количество работ, а структурным аспектам этой задачи уделяется мало внимания.

Следует отметить, что марганец является не вполне типичным металлом, о чем свидетельствует ряд его уникальных особенностей, например, марганец имеет четыре полиморфные модификации [5] и может принимать степени окисления от +2 до +7 [6]. Поэтому подробное исследование структуры электроосажденного железа, легированного марганцем, является актуальной и перспективной задачей, решение которой может открыть новые возможные пути повышения комплекса свойств электроосажденных Fe – Mn покрытий. Следует также учитывать, что структура электроосажденных материалов существенно отличается от структуры материалов, полученных металлургическим способом [7], что затрудняет прямое использование накопленных в литературных источниках данных, например, по марганцевым сталям.

Таким образом, целью данной работы было выявление особенностей структурообразования электроосажденного железа, легированного марганцем, в зависимости от концентрации ионов последнего в электролите.

**Материал и методика исследования.** В данной работе методами растровой электронной микроскопии (РЭМ-106И) и рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3) исследованы покрытия сплавами Fe – Mn толщиной 15 мкм, электроосажденные из сульфатного электролита (рН 2–3) с соотношением концентраций ионов марганца и железа от 1 : 80 до 40 : 80 (масс.). Температура электролиза 55–57 °С, катодная плотность тока 10 А/дм<sup>2</sup>. Осаждение проводили с использованием растворимого железного анода, в качестве подложки применяли низкоуглеродистую сталь 08кп. Для выявления взаимосвязи между структурой и свойствами электроосажденных покрытий измеряли микротвердость полученных образцов на приборе ПМТ-3.

**Результаты исследования.** Введение в сульфатный электролит железнения небольших концентраций ионов марганца приводит к

существенному повышению микротвердости электроосажденных покрытий (табл.). При этом максимальная микротвердость наблюдается в образцах, полученных при концентрации марганца в электролите 1 : 80. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к постепенному снижению микротвердости до уровня чистого железа.

Таблица

Микротвердость электроосажденного железа, легированного марганцем

Концентрация Mn в электролите	0	1:80	5:80	10:80	20:80	40:80
Микротвердость, ГПа	2,7	4,1	3,7	2,3	3,4	2,7

Для выявления причин повышения микротвердости покрытий были проведены структурные исследования. Рентгеновский фазовый анализ показал (рис. 1), что введение марганца в сульфатный электролит железения во всем исследованном диапазоне концентраций приводит к образованию твердых растворов на основе железа, о чем свидетельствует некоторое смещение линий железа на дифрактограммах.

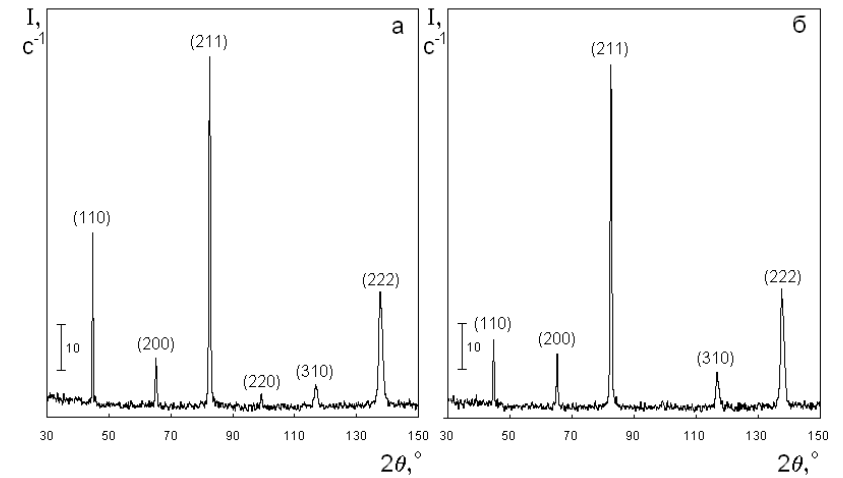


Рис. 1. Дифрактограммы электроосажденного железа, легированного марганцем, концентрация ионов марганца в электролите (по отношению к железу, масс.): *а* – 1 : 80; *б* – 5 : 80

Наблюдаемое соотношение интенсивностей дифракционных максимумов образцов, полученных при различных концентрациях марганца в электролите (рис. 1), близко к соотношению интенсивностей для электроосажденного железа без легирования (как показано нами ранее [8; 9], в чистом электроосажденном железе преобладает аксиальная ориентировка

кристаллов  $\langle 211 \rangle$ . Тем не менее, некоторое исключение представляют собой образцы, осажденные при концентрации ионов марганца 1 : 80 (рис. 1 а). В этих покрытиях наблюдается небольшое усиление относительной интенсивности максимума  $\langle 110 \rangle$ , что может указывать на определенное увеличение доли кристаллов с соответствующей ориентировкой  $\langle 110 \rangle$  в структуре электроосадков.

Электронномикроскопический анализ структуры поверхности электроосажденных образцов показал, что при концентрации ионов марганца в электролите 1 : 80 происходит формирование наиболее дисперсной структуры осадков (рис. 2 б) по сравнению с другими исследованными концентрациями (рис. 2 в, г). Хотя в такой структуре также присутствуют отдельные крупные кристаллы (достигающие 1–1,5 мкм). Повышение концентрации марганца до 5 : 80 и более приводит к росту числа крупных кристаллов, а структура таких покрытий более похожа на структуру электроосажденного железа без легирования с более грубым рельефом поверхности (рис. 2 а).

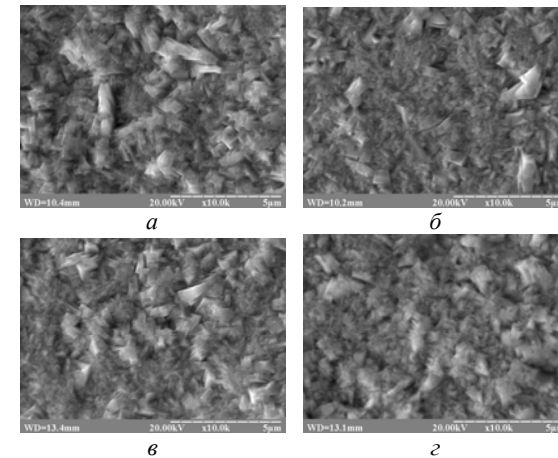


Рис. 2. Структура поверхности электроосажденного железа, легированного марганцем ( $\times 10\ 000$ ), концентрация ионов марганца в электролите (по отношению к железу, масс.): а – 0; б – 1 : 80; в – 10 : 80; г – 40 : 80

Таким образом, полученные результаты структурных исследований дают основание полагать, что вероятной причиной повышения микротвердости образцов при концентрации марганца в электролите 1 : 80 является некоторое увеличение доли кристаллов с ориентировкой  $\langle 110 \rangle$  в их структуре, сопровождающееся формированием более дисперсной матрицы.

## ВЫВОДЫ

Показано, что введение ионов марганца в сульфатный электролит железнения приводит к образованию в покрытиях твердых растворов на основе железа с преобладающей аксиальной ориентировкой <211>.

Установлено, что при соотношении концентраций ионов марганца и железа в электролите 1 : 80 в покрытиях несколько увеличивается доля кристаллов с ориентировкой <110>, что сопровождается формированием более дисперсной микроструктуры и приводит к повышению микротвердости железных покрытий, легированных марганцем.

## Литература

1. Петров Ю. Н. Электролитическое осаждение железа / Ю. Н. Петров, Г. В. Гурьянов, Ж. И. Бобанова и др. – Кишинев : Штиинца, 1990. – 195 с.
2. Ревякин В. П. Ремонт автотракторных деталей гальваническим способом / В. П. Ревякин. – Иркутск : Иркутское обл. гос. изд-во, 1952. – 139 с.
3. Колесник Е. В. Усовершенствование технологии электрохимического железнения стальных изделий путем введения в электролит ионов металлов / Е. В. Колесник // Матер. Всеукр. конф. “Инженерные средства и методы оптимизации химических производств”. – Дн-вск : ДВНЗ “УДХТУ”, 2011. – С. 34–35.
4. Зуївська Н. В. Дослідження і розробка електродів осадження покриття сплавом залізо-марганець з підвищеним опором зносу та корозії: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.17.03 / Н. В. Зуївська // Харків, 1996. – 15 с.
5. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик. – М. : МИСИС, 2002. – 358 с.
6. Lange's Handbook of Chemistry / Ed. J. A. Dean. – USA. : McGraw-Hill, 1999. – 1424 p.
7. Поветкин В. В., Ковенский И. М. Структура электролитических покрытий / В. В. Поветкин. – М. : Металлургия, 1989. – 135 с.
8. Колесник Е. В. Изменение совершенства кристаллографической текстуры по толщине электроосажденных железных покрытий / Е. В. Колесник // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – С. 401–406.
9. Колесник Е. В., Величко М. Т. Влияние плотности тока на кристаллографическую текстуру электроосажденного железа / Е. В. Колесник // Металознавство та термічна обробка металів. – Д. : ПДАБА, 2011. – № 3. – С. 26–30.