

УДК 621.891.923

А.М.Кузей¹, д-р техн. наук, доцентВ.А.Филимонов¹, канд. хим. наук;С.В.Якубовская², канд. техн. наук¹Физико-технический институт НАН Беларуси;²Белорусский национальный технический университет

**ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ
Ni-Fe-C, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ АПРОТОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ,
ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

Сплавы никель-железо-углерод, получаемые металлургическими методами, широко применяются в промышленности в качестве коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных материалов. Содержание углерода в них не превышает 0,8-1,8 мас. % [1]. Повышение содержания углерода в сплавах металлургических системы не приводит к существенному повышению их прочности, физико-химических характеристик [2]. Электрохимические методы получения позволяют вводить в никель-железную матрицу небольшие, до 0,4-0,8 мас. %, количества углерода [3]. В качестве примеси углерод присутствует в покрытиях из никеля, железа, никель-железных сплавов, осаждаемых из водных электролитов, содержащих органические (блескообразующие) добавки, в больших (до 1 мас. %) количествах углерод присутствует в железных покрытиях, осаждаемых из оксалатных электролитов железнено-ния [4]. Физико-химические, в том числе прочностные характеристики сплавов никель-железо-углерод могут быть значительно улучшены термическими обработками [2]. Применительно к электрохимическим сплавам в виде покрытий, такая возможность осложняется наводороживанием сплава, однако ситуация существенно улучшается при применении для осаждения покрытий никель-железо-углерод апротонных электролитов [5]. Снижение содержания водорода позволяет проводить термическую обработку покрытий в достаточно широком диапазоне температур (575-1075 К), что делает возможным [2] изменять структуру покрытий, их физико-механические характеристики. Процессы получения электрохимических сплавов системы никель-железо-углерод из апротонных электролитов не разработаны, и структура сплавов не изучена.

В работе исследованы процессы получения и физико-химические свойства композиционных покрытий системы никель-железо-углерод. Покрытия осаждались из хлоридных электролитов, в

качестве растворителя использовался глицерин и расплав карбамида. Формирование покрытий отмечается уже при плотности тока 3 мА/см^2 и разности потенциалов $0,75 \text{ В}$ (соотношение площадей катода и анода составляло $\sim 1:3$). Концентрацию хлорида железа в электролите варьировали от 1 до 6 мас. %, концентрация хлорида никеля составляла 15, 12, 10 мас. %, плотность тока при осаждении покрытий составляла 3, 10, 15, 25 А/дм^2 . В табл. 1 показана зависимость скорости осаждения покрытия из электролита на основе глицерина от плотности тока электролиза при температуре 400 К , концентрации хлорида никеля в электролите 10 мас. %, хлорида железа – 2 мас. %.

Таблица 1. Зависимость скорости осаждения покрытия от плотности тока

Плотность тока, мА/см^2	3	5	8	10	15	20	25	30
Скорость осаждения, мкм/час	2,5	3,0	6,0	8,0	10	13	16	17,5

Микроструктура электрохимических покрытий, осаждаемых из базового раствора хлорида никеля в глицерине, зависит от плотности тока (рис. 1).

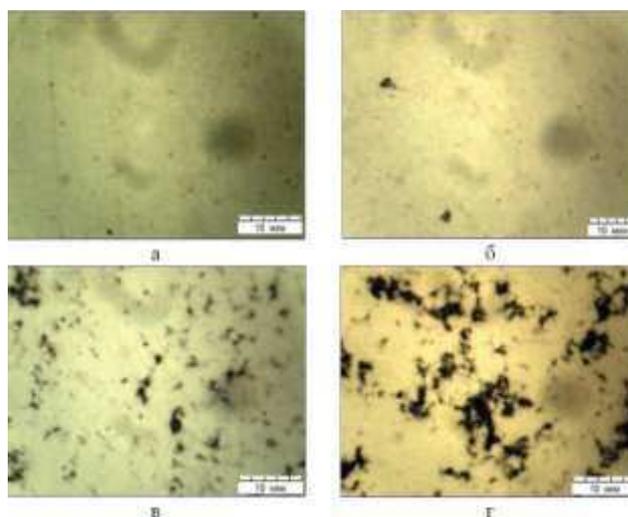


Рисунок 1 - Микроструктура никелевых покрытий.

Концентрация хлорида никеля в электролите 15 мас. %, температура электролита 420 К . Плотность тока, мА/см^2 : а – 3; б – 10; в – 15; г – 25

Как видно, по мере увеличения плотности тока электролиза возрастает выделение углерода сначала в виде отдельных ультрадисперсных частиц, а затем в виде более крупных агломератов новой фазы.

Введение в электролит хлорида железа (1 мас. %) не приводит к существенному изменению микроструктуры покрытий (рис. 2).

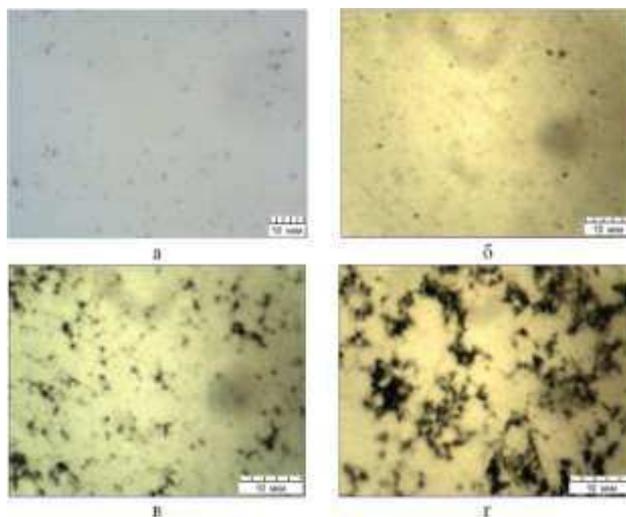


Рисунок 2 – Микроструктура электрохимических покрытий никель-железо-углерод. Температура электролита 420 К.

Концентрация

в электролите, мас. %: хлорида никеля - 14; хлорида железа - 1

В области более высоких (6 мас. %) концентраций хлорида железа в электролите формируются покрытия с более выраженной неоднородностью структуры (рис. 3).

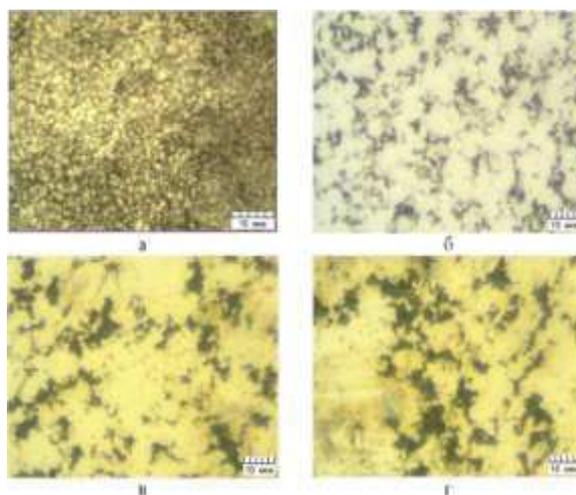


Рисунок 3– Микроструктура электрохимических покрытий никель-железо-углерод. Температура электролита 420 К. Концентрация в электролите, мас. %: хлорида никеля - 10; хлорида железа - 6

Режимы осаждения покрытий системы никель-углерод и, в

первую очередь, величины плотности тока, определяют изменение прочности покрытий. Микротвердость никелевых покрытий составляет: 1,8; 2,3; 2,7; 1,3 ГПа при плотности тока 3; 5; 10; 25 мА/см², соответственно. Влияние плотности тока на микротвердость отмечается и при осаждении покрытий системы никель-железо-углерод. Микротвердость покрытий, осажденных из электролита с 1 мас. % хлорида железа, при плотности тока 3, 5, 10, 25 мА/см² составляет 2,1; 3,2; 3,5; 1,6 ГПа, соответственно. Наибольших значений микротвердость покрытий достигает при концентрации хлорида железа в электролите 6 мас. %. Осаждение покрытий при плотностях тока 3, 5, 10, 25 мА/см² приводит к увеличению микротвердости до 4,5; 5,6; 6,7; 2,4 ГПа, соответственно. Увеличение микротвердости покрытий может быть связано с их микроструктурой: в покрытиях, осажденных при более высоких (25 мА/см²) плотностях тока, содержание углерода в покрытиях возрастает, изменяется и форма присутствия углерода: углерод присутствует как в форме ультрадисперсных частиц, так и в форме пленок на поверхности зерен.

Электрохимические сплавы системы никель-железо-углерод представляют собой композиционные материалы, состоящие из зерен никель-железного сплава, между которыми расположены дисперсные частицы углерода. Термическая стабильность такой структуры будет определяться в том числе и состоянием дисперсной фазы углерода.

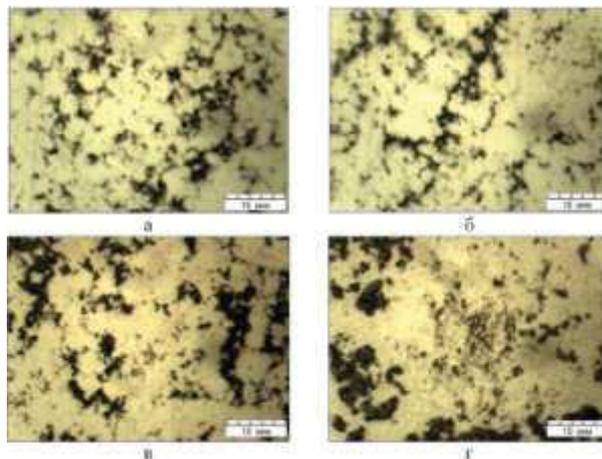


Рисунок 4 – Микроструктура электрохимического покрытия никель-железо-углерод после отжига при 775 К. Концентрация хлорида железа в электролите 1 мас. %. Содержание железа в покрытии 2,9 мас. %. Продолжительность отжига, час: а– 0; б – 1; в – 2; г – 3

Отжиг покрытий системы никель-железо-углерод при 775 К

приводит к изменению параметра решетки «твердого раствора» железа и углерода в никеле. Микроструктура сплава после часового отжига не изменяется. После двух- и трехчасового отжига в структуре сплава появляются зерна больших размеров, чем в исходном сплаве (рис. 4).

Параметр решетки электрохимического сплава с 0,37 мас. % железа (концентрация хлорида железа в электролите 1 мас. %) в исходном состоянии составляет 3,5162 Å, а после 1, 2, 3 часов отжига составляла 3,5183; 3,5202; 3,5212 Å, соответственно.

Показано, что структура покрытий системы никель-железо-углерод определяется значениями температуры, плотности тока, а также составом электролита. Увеличение плотности тока приводит к изменению микроструктуры от квази-гомогенного «твердого раствора» железа и углерода в никеле до гетерогенной композиционной микроструктуры, которая представляет собой матрицу «твердого раствора» железа, углерода в никеле и дисперсные частицы углерода и α -железа. Термообработка покрытий при 775 К сопровождается повышением микротвердости покрытий (до 4,9-9,1 ГПа) при сохранении исходной зеренной микроструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банных, О.А. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / О.А.Баных, П.Б.Будберг, С.П.Алисова и др. Справ. изд. М.: Металлургия. – 1986. – 440 с.
2. Мирзаев, Д.А. Влияние ближнего упорядочения на мартенситное превращение в сплавах железо–никель–углерод / Д.А.Мирзаев, К.Ю.Окишев, А.С.Созыкина, И.В.Лапина // Вестник ЮУрГУ, № 36, 2011. Серия «Металлургия». – Выпуск 17. – С. 61-65.
3. Бобанова, Ж.И. Износостойкие гальванические покрытия на основе сплавов железа / Ж.И.Бобанова, С.П.Сидельникова, Д.М.Кроитору / Электронная обработка материалов. – 2004. – № 1. – С. 18-24.
4. Ткачев, А.Г. Получение наномодифицированных никелевых гальванических покрытий / А.Г.Ткачев, Ю.В.Литовка, И.А.Дьяков, О.А.Кузнецова // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2010. – № 1. – С. 17-21.