

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского  
Серия «Биология, химия». Том 26 (65). 2013. № 3. С. 253-260.

УДК 544.6.018

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ NI-IN

*Звягинцева А.В.*

*Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия  
E-mail: zvygincevaav@mail.ru*

Проведено исследование фазового состава систем никель-индий, полученных электрохимическим методом, в зависимости от содержания сульфата индия в электролите методом рентгеноструктурного анализа. При содержании в электролите  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  в количестве менее 2 г/л на катоде осаждается никель, присутствия чистого индия и его соединений с никелем не обнаружено. С увеличением содержания сульфата индия (III) в растворе от 2 г/л и выше на катоде осаждается чистый никель и интерметаллиды:  $\text{InNi}_2$ ,  $\text{InNi}_3$ ,  $\text{In}_3\text{Ni}_2$ ,  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . В никелевых электрохимических системах выявлено присутствие фазы  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ , о существовании которой имеются сведения в таблицах ASTM, но отсутствуют на диаграммах равновесного состояния системы Ni – In, в приведённых литературных источниках.

**Ключевые слова:** система Ni–In, фазовый состав, структура.

### ВВЕДЕНИЕ

Сплавы металлов с индием представляют большой интерес для различных областей современной промышленности. Легирование никеля индием увеличивает его пластичность, износостойкость, прочность на разрыв, облегчает обрабатываемость, повышает антикоррозионную стойкость, придает способность к пайке и к свариваемости с токопроводящими элементами. В зависимости от содержания индия в осадке, предназначение сплавов Ni–In различно. Покрытия с содержанием индия выше 10% применяются, как антифрикционные и коррозионностойкие в машиностроении, а с содержанием индия менее 3%, как функциональные в радиоэлектронной промышленности.

Первые исследования системы Ni–In, выполненные методами термического, микроструктурного и рентгеновского анализов, были посвящены изучению богатых никелем сплавов с содержанием от 0 до 20 ат. % In. Этими исследованиями было установлено существование ограниченного твердого раствора на основе никеля, содержание индия в котором резко уменьшается с понижением температуры от максимального ~24,75% при 883° до 14,53; 9,33; 4,96 и ~1,55% при 830, 740, 630 и 400° соответственно [1]. Построенная по данным этих исследований диаграмма

состояния указывала на существование в системе промежуточных фаз  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\delta$ ,  $\delta'$  и  $\eta$ , из которых  $\delta$  – фаза стабильна только в интервале 916–755°.

Стабильные при низких температурах  $\gamma$ -,  $\beta$ -,  $\epsilon$ -,  $\delta'$ - и  $\eta$ -фазы системы являются по данным [2, 3] твердыми растворами на основе химических соединений  $\text{Ni}_3\text{In}$  (39,46% In),  $\text{Ni}_2\text{In}$  (49,39% In),  $\text{NiIn}$  (66,16% In),  $\text{Ni}_2\text{In}_3$  (74,57% In) и, по-видимому,  $\text{Ni}_3\text{In}_7$  (82,02% In), соответственно. Растворимости никеля в твердом индии обнаружено не было.

Таким образом анализ литературных данных показал, что система никель-индий является достаточно сложной, в ней обнаружено наличие промежуточных фаз  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\delta$ ,  $\delta'$  и  $\eta$ . Стабильные при низких температурах  $\gamma$ -,  $\beta$ -,  $\epsilon$ -,  $\delta'$ - и  $\eta$ -фазы системы являются твердыми растворами на основе химических соединений  $\text{Ni}_3\text{In}$  (39,46% In),  $\text{Ni}_2\text{In}$  (49,39% In),  $\text{NiIn}$  (66,16% In),  $\text{Ni}_2\text{In}_3$  (74,57% In),  $\text{Ni}_3\text{In}_7$  (82,02% In).

Впервые жаропрочные антифрикционные сплавы никеля и индия электролитическим способом получены в 1962 году [4]. Рекомендуемый способ осаждения обеспечивает получение равномерного покрытия, хорошо сцепляющегося с основой, обладающего блеском, высокой жаропрочностью и коррозионной устойчивостью, с содержанием индия 10–40% из электролита, содержащего (г/л): кислоты сульфаминовой – 50; никеля сернокислого (в пересчете на металл) – 50; индия – 0,5–2,0. Состав электролитических покрытий Ni–In зависит от природы применяемого электролита. Щелочные электролиты [5, 6] позволяют получать сплавы, обогащенные индием (от 25 до 75%), а кислые с содержанием индия 10% [6] и менее 3% [7, 8]. В зависимости от содержания индия в осадке, предназначение сплавов различно. Покрытия с содержанием индия выше 10% применяются, как антифрикционные и коррозионностойкие в машиностроении, а с содержанием индия менее 3%, как функциональные в радиоэлектронной промышленности.

Целью данной работы является продолжение изучения влияния режимов электрохимического осаждения на структуру и морфологию покрытий Ni–In.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Никель-индиевые соединения получали электролитическим осаждением, с составом электролита:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 140 г/л,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – 20 г/л,  $\text{H}_2\text{Mal}$  (малоновая кислота) – 52 г/л,  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  – 0; 0,5; 1; 2; 4; 8; 12 г/л. Электролиз проводился с платиновым анодом и медным катодом.

Для исследования фазового состава образцов использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН – 2.0 с использованием медного излучения. На дифрактограмме регистрируется угол  $2\theta$ . По измеренному углу  $\theta$  вычисляли межплоскостное расстояние  $d/n$  по формуле:

$$d/n = \lambda / 2 \sin \theta, \quad (1)$$

где  $n$  – порядок отражения;  $\lambda$  – длина волны излучения, Å;  $\theta$  – брегговский угол.

Полученные значения межплоскостных расстояний сравниваются с табличными данными (ASTM – American Society for Testing and Materials) и делаются заключения о принадлежности дифракционных максимумов к той или иной фазе [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальным путем был подобран оптимальный режим нанесения никелевых покрытий: плотность катодного тока –  $2 \text{ А/дм}^2$ , температура электролита – комнатная. Этот режим наряду с хорошими технологическими параметрами такими, как оптимальная скорость роста покрытий, достаточный выход по току, позволяет получать однородные по толщине пленки с хорошей коррозионной стойкостью и прочностью. Для определения влияния каждого из параметров электроосаждения на формирование покрытия, варьировался только один параметр: либо плотность катодного тока, либо концентрация индия в электролите. Гравиметрическими исследованиями установлено, что при изменении плотности катодного тока от  $0,5$  до  $3 \text{ А/дм}^2$  толщина покрытий увеличивается от  $2,6$  до  $6 \text{ мкм}$  при одном времени электролиза  $\tau_{\text{эл-за}} = 60 \text{ мин}$ . Аналогичная ситуация происходит и с толщиной покрытия, она увеличивается при изменении содержания сульфата индия в электролите от  $1$  до  $12 \text{ мкм}$  (рисунок 1).

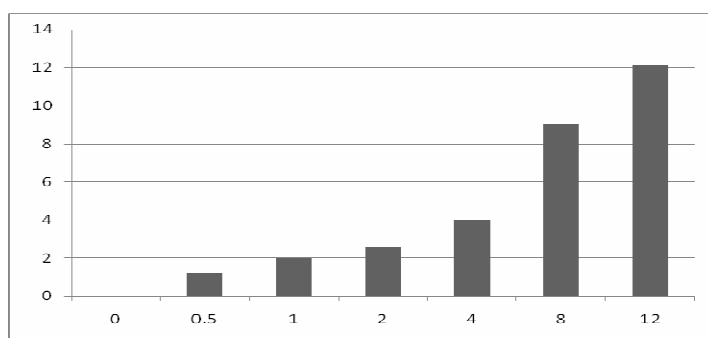


Рис.1. Зависимость толщины покрытия Ni–In от концентрации  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  в электролите

При электролитическом осаждении покрытия Ni–In, с содержанием сульфата индия до  $12 \text{ г/л}$ , получились блестящие, ровные, светло – серые с голубым оттенком, характерным для индиевых покрытий, эластичные, без питтинга, с хорошей адгезией к катоду (из меди). При увеличении концентрации  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  в электролите от  $1$  до  $12 \text{ г/л}$  содержание In в системе возрастает до  $47,5 \text{ вес. \%}$ , а Ni соответственно становится  $52,5 \text{ вес. \%}$ . Содержание компонентов в системе Ni–In определялось рентгено-флуоресцентным методом [9]. При увеличении концентрации сульфата индия в электролите до  $12 \text{ г/л}$  можно получить покрытия, обогащенные индием. Это связано с изменением состояния поверхности катода при электроосаждении сплава из электролитов с различной концентрацией ионов  $\text{In}^{3+}$ . Увеличение содержания индия в электролите приводит к облегчению разряда его катионов и торможению разряда ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в сплав [8, 10].

Результаты расчета рентгенограмм сведены в табл. 1. Анализ полученных результатов показывает, что при содержании в электролите  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  в количестве менее  $2 \text{ г/л}$  на катоде осаждается никель, присутствие чистого индия и его соединений с никелем не отмечено. С увеличением содержания сульфата индия(III)

в растворе до 2 г/л на катоде осаждается чистый никель и интерметаллиды:  $\text{InNi}_2$ ,  $\text{InNi}_3$ ,  $\text{In}_3\text{Ni}_2$ ,  $\eta$  -  $\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$  [3, 11]. В электролитических пленках Ni–In полученных из электролитов с содержанием  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  8 г/л появляется дополнительная фаза  $\varepsilon$ - $\text{InNi}$ .

При увеличении содержания сульфата индия (III) в электролите до 12 г/л в образующейся системе Ni–In линия, соответствующая чистому никелю отсутствует. В диаграммах равновесного состояния [2, 3] отсутствует фаза  $\eta$ - $\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$ , однако, по данным американской международной добровольной организации, разрабатывающей стандарты для материалов ASTM (American Society for Testing and Materials) в системе Ni–In указана интерметаллидная фаза  $\eta$ - $\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$ , с тетрагональной решеткой. Рентгеноструктурный анализ, проведенный на наших образцах, выявил данную фазу в системах, синтезированных в электролитах с содержанием  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  от 2 г/л и более. По-видимому, наличие данной фазы зависит от способа получения системы In–Ni или она является неравновесной. В данной работе система создавалась электролитическим путем при комнатной температуре. Отсутствие высоких температур при изготовлении сплава Ni–In очевидно способствует стабилизации фазы  $\eta$ - $\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . Можно предположить, что  $\eta$ -фаза должна образовываться при любых методах синтеза, исключая нагрев.

Таблица 1.

## Результаты расчета рентгенограмм

№	$2\Theta$	$\Theta$	$\sin\Theta$	d/n	фаза	Интенсивность
1	2	3	4	5	6	7
Образец №1 (In = 0 г/л)						
1	39,21	19,60	0,3355	2,295	Ni	Очень слабая
2	45,47	22,73	0,3864	1,9927	Ni	Слабая
3	66	33	0,5446	1,4138	Ni	Очень сильная
4	74,53	37,26	0,6055	1,2716	Ni	Очень слабая
5	79,75	39,87	0,6411	1,20106	Ni	Слабая
Образец №2 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 0,5$ г/л)						
1	39,37	19,68	0,3368	2,2862	Ni	Очень слабая
2	45,46	22,73	0,3864	1,9927	Ni	Очень слабая
3	66,18	33,09	0,5459	1,4105	Ni	Очень сильная
4	74,37	37,18	0,6044	1,2739	Ni	Слабая
5	79,65	39,82	0,6404	1,2023	Ni	Слабая
Образец №3 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 1$ г/л)						
1	37,5	18,75	0,32143	2,39554	Ni	Очень слабая
2	45,42	22,71	0,38606	1,994508	Ni	Очень слабая
1	2	3	4	5	6	7
3	66,38	33,19	0,54741	1,406623	Ni	Очень сильная
4	74,33	37,16	0,60404	1,27475	Ni	Очень слабая
5	79,67	39,84	0,64064	1,201923	Ni	Слабая

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ...

Продолжение таблицы 1

Образец №4 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 2$ г/л)						
1	37,44	18,72	0,32094	2,3992	$\gamma\text{-InNi}_3$	Слабая
2	45,42	22,71	0,38606	1,9945	Ni	Слабая
3	53,86	26,93	0,4529	1,70015	$\text{InNi}_2$	Слабая
4	66	33	0,54463	1,4138	Ni	Очень сильная
5	67,36	33,68	0,55455	1,38851	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Слабая
6	79,67	39,84	0,64064	1,20192	Ni	Слабая
Образец №5 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 4$ г/л)						
1	30,4	15,2	0,26218	2,9369	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Средняя
2	32,9	16,45	0,28317	2,71921	In	Средняя
3	38,88	19,44	0,3328	2,3137	$\gamma\text{-InNi}_3$	Средняя
4	39,16	19,58	0,3351	2,29782	In	Средняя
5	43,3	21,65	0,3689	2,08728	$\text{In}_3\text{Ni}_2$	Слабая
6	45,42	22,71	0,38606	1,9945	Ni	Слабая
7	53,75	26,87	0,45196	1,70369	$\text{InNi}_2$	Слабая
8	66,38	33,19	0,5474	1,40664	Ni	Очень сильная
9	67,36	33,68	0,5545	1,388638	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Слабая
10	79,86	39,93	0,6418	1,19975	Ni	средняя
Образец №6 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 8$ г/л)						
1	27,65	13,82	0,239	3,2217	$\varepsilon\text{-InNi}$	Сильная
2	30	15	0,2588	2,9752	$\text{InNi}_2$	Очень сильная
3	30,62	15,31	0,264	2,9166	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Средняя
4	33,12	16,56	0,285	2,701	In	Сильная
5	35,46	17,73	0,3045	2,5287	$\text{In}_3\text{Ni}_2$	Слабая
6	39,75	19,87	0,3399	2,2653	Ni	Средняя
7	43,75	21,87	0,3725	2,0671	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Слабая
8	50,93	25,46	0,43	1,7906	$\delta\text{-In}_3\text{Ni}_2$	Средняя
9	52,5	26,25	0,4422	1,7412	$\gamma\text{-InNi}_3$	Средняя
10	60,93	30,46	0,507	1,5187	$\varepsilon\text{-InNi}$	Слабая
11	66,25	33,12	0,5464	1,409	Ni	Очень сильная
12	67,75	33,87	0,5573	1,381	$\varepsilon\text{-InNi}$	Средняя
13	75,78	37,89	0,6141	1,2538	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Средняя
14	79,37	39,68	0,6384	1,206	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Средняя
15	79,68	39,84	0,6406	1,201	Ni	Слабая
1	2	3	4	5	6	7
Образец №12 ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 = 12$ г/л)						
1	27,81	13,90	0,2403	3,204	$\varepsilon\text{-InNi}$	Сильная
2	30	15	0,2588	2,975	$\text{InNi}_2$	Очень сильная
3	30,62	15,31	0,264	2,916	$\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$	Средняя

Продолжение таблицы 1

4	32,96	16,48	0,2837	2,7141	In	Сильная
5	35,34	17,67	0,3035	2,537	In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Очень слабая
6	37,65	18,82	0,3227	2,386	In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Сильная
7	39,78	19,89	0,3402	2,2633	Ni	Слабая
8	43,75	21,87	0,3725	2,0671	η-In <sub>27</sub> Ni <sub>10</sub>	Слабая
9	50,78	25,39	0,4287	1,7961	δ'-In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Слабая
10	52,65	26,32	0,4435	1,736	γ-InNi <sub>3</sub>	Слабая
11	54,12	27,06	0,4549	1,6926	In	Слабая
12	56,71	28,35	0,4749	1,621	Ni <sub>3</sub> In	Очень слабая
13	57,34	28,67	0,4797	1,605	δ'-In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Очень слабая
14	58,90	29,45	0,4916	1,5663	γ-InNi <sub>3</sub>	Очень слабая
15	60	30	0,5	1,54	γ-InNi <sub>3</sub>	Очень слабая
16	61,87	30,93	0,514	1,498	η-In <sub>27</sub> Ni <sub>10</sub>	Слабая
17	66,09	33,04	0,5452	1,4123	Ni	Очень слабая
18	67,65	33,82	0,5566	1,3833	ε-InNi	Слабая
19	70,46	35,23	0,5769	1,3347	γ-InNi <sub>3</sub>	Очень слабая
20	73,43	36,71	0,5978	1,2880	InNi <sub>2</sub>	Очень слабая
21	75,93	37,96	0,6152	1,2516	δ'-In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Очень слабая

Исследование фазового состава систем никель-индий, полученных электрохимическим методом, проводили в зависимости от содержания сульфата индия в электролите. Определения содержания индия и никеля в данных образцах планируется в дальнейших исследованиях. Результаты исследования представлены в табл. 2.

**Таблица 2.**  
**Зависимость фазового состава электрохимических никель-индиевых систем от содержания индия**

Содержание In <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> в электролите, г/л	Ni	InNi <sub>2</sub>	InNi <sub>3</sub>	In <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	In <sub>27</sub> Ni <sub>10</sub>	In	InNi
2	+	+	+	+	+	-	-
4	+	+	+	+	+	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+
12	-	+	+	+	+	+	+

“+” – наличие соединения

“-” – отсутствие соединения

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при исследовании фазового состава электрохимических систем никель-индий от содержания индия нами был обнаружен интересный результат. При содержании в электролите In<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> в количестве менее 2 г/л на катоде

осаждается никель, присутствие чистого индия и его соединений с никелем не обнаружено. С увеличением содержания сульфата индия (III) в растворе до 2 г/л и выше на катоде осаждается чистый никель и интерметаллиды:  $\text{InNi}_2$ ,  $\text{InNi}_3$ ,  $\text{In}_3\text{Ni}_2$ ,  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . Однако, в диаграммах равновесного состояния данная фаза  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$  отсутствует. По-видимому, наличие данной фазы зависит от способа получения системы Ni–In или она является метастабильной.

По результатам данной работы можно сделать вывод, что:

1. Толщина электролитического осадка пропорциональна содержанию сульфата индия в электролите и плотности катодного тока.
2. Выявлено присутствие фазы  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ , о существовании которой имеются сведения в таблицах ASTM, но не указанной на существующих в литературе диаграммах равновесного состояния системы Ni–In. Ее отсутствие, по-видимому, связано с тем, что данная фаза является метастабильной.

### Список литературы

1. Блешинский С.В. Химия индия. / С.В. Блешинский, В.Ф. Абрамова. – Фрунзе: АН Киргизской ССР, 1958. – 371 с.
2. Барабаш О.М. Кристаллическая структура металлов и сплавов: / О.М.Барабаш, Ю.Н Коваль. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1986. – 598 с.
3. Лякишева Н.М. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3т. / под ред. Н. М. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2000. – 368 с.
4. Способ электроосаждения сплавов индий–никель. И.И. Лавров, С.И. Складенко, В.М. Хазан. А.С. № 145102, СССР. С 25D3/56. Заяв. 22.06. 1961, № 735996/22-2. Опубл. Б.И., 1962. № 4.
5. Способ электролитического осаждения сплавов индия. М.А. Марченко, Л.С. Ионьчева. А.С. № 201871, СССР. С25D3/56. Заяв. 09.07.1964, № 911249/22-1. Опубл.08.10.67. Бюл. № 18.
6. Электролит для осаждения покрытий сплавом никель–индий Перельгин Ю.П., С.Н. Виноградов. А.С. № 1211342, СССР. С25D3/56, Заяв. 09.06.1983 № 3603476/22-02. Опубл.15.02.86. Бюл. № 6.
7. Новиков Л.Г. Электронная техника. / Л.Г.Новиков. – 1987. – Сер.7, Вып. I(140). – С. 32–37.
8. Звягинцева А.В. Электроосаждение покрытий никель–индий из сульфатно-хлоридного электролита / А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева // Гальванотехника и обработка поверхности. – М. – 1994. – Т. 3, № 5–6. – С. 47–51.
9. Горелик С.С. Рентгенографический и электронооптический анализ / С.С. Горелик, Л.И. Расторгуев, Ю.А. Скаков. – М.: Металлургия, 1970. – 366 с.
10. Звягинцева А.В. Физико-механические и коррозионно-электрохимические свойства никелевых покрытий, легированных индием / А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева // Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 1994. – Т. 3 - №5 – 6. С. 52–54.
11. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. / А.Е. Вол. – М.: Наука, 1959. – 755 с.

**Звягинцева А.В. Структурно-фазові зміни в електрохімічних системах Ni–In. / А.В. Звягинцева // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 3. – С. 253-260.**

Проведено дослідження фазового складу систем нікель–індій, отриманих електрохімічним методом, залежно від змісту сульфату індію в електроліті методом рентгеноструктурного аналізу. При зміні в електроліті  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  в кількості менше 2 г/л на катоді осідає нікель, присутність чистого індію і його з'єднань з нікелем не виявлено. Зі збільшенням змісту сульфату індію (III) в розчині від 2 г/л і вище на катоді осідає чистий нікель та інтерметаліди:  $\text{InNi}_2$ ,  $\text{InNi}_3$ ,  $\text{In}_3\text{Ni}_2$ ,  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . У нікелевих електрохімічних системах виявлена присутність фази  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ , про існування якої є відомості в таблицях ASTM, але відсутні на діаграмах рівноважного стану системи Ni–In, в приведених літературних джерелах.

**Ключові слова:** система Ni–In, фазовий склад, структура.

**STRUCTURAL AND PHASE CHANGES IN ELECTROCHEMICAL SYSTEMS NI-IN**

*Zvyagintseva A.V.*

*Voronezh state technical University, Voronezh, Russia  
E-mail: zvygincevaav@mail.ru*

Alloys of metals with indium are of great interest for various areas of modern industry. Alloying with nickel indium positively influences the physical and chemical properties of alloys, such as plasticity, wear resistance, tear strength, facilitates machinability, increases resistance to corrosion, gives the ability to soldering and welding of a conductive elements. Depending on the content of indium in the sediments, the purpose alloys Ni–In different. Connection with the foregoing, the introduction of structural-phase research is determined by the requirements of the technical annexes, which uses data system.

Conducted a study by x-ray structure analysis of the phase composition of the systems of nickel-indium, obtained by electrochemical method, depending on the content of indium sulfate in the electrolyte nickel - indium system were obtained by means of electrolytic deposition, with the composition of the electrolyte  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 140 g/l,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – 20 g/l,  $\text{H}_2\text{Mal}$  (malonic acid) – 52 g/l,  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  – 0; 0,5; 1; 2; 4; 8; 12 g/l. Electrolysis was conducted with platinum copper anode and cathode.

For the study of phase composition of the samples was used x-ray diffractometer DRON-2.0 using a copper radiation. Gravimetric studies have found that changing the cathode current density from 0,5 to 3 A/dm<sup>2</sup> coating thickness increases from 2,6 to 6 mm at the same time electrolysis  $\tau_{\text{эл-за}} = 60$  minutes A similar situation happens with the layer thickness, it increases as the content of indium sulfate in the electrolyte from 1 to 12 microns.

At electrolytic deposition of coatings Ni-In, with the content of sulfate indium to 12 g/l, were a brilliant, smooth, light gray, with a blue tint, which is characteristic for indium coating, elastic, without pitting, with good adhesion to the cathode (copper). By increasing the concentration  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  in the electrolyte from 1 to 12 g/l content In the system increases to 47,5% weight.% and Ni, respectively becomes 52,5 weight. %. It is connected with the condition of the surface of the cathode at electrodeposition alloy of electrolytes with different concentration of ions  $\text{In}^{3+}$ . The increase in the content indium in the electrolyte leads to the relief of their discharge and inhibition of the discharge of ions  $\text{Ni}^{2+}$  alloy.

The x-ray analysis in nickel electrochemical systems, synthesized in electrolytes with the content  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  from 2 g/l and more, detected the presence of phase  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . About the existence of phase  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$  there is information in the tables ASTM, but not on the charts equilibrium state of the system Ni–In, in the literary sources. Presumably, the presence of this phase depends on how the system Ni–In or she is metastable. In this work, the system was created by electrolytic at room temperature. The absence of high temperatures in the manufacture of alloy Ni–In obviously contributes to the stabilization phase of the  $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$ . We can assume that the  $\eta$ -phase should be formed by any methods of synthesis, excluding heating. In the result of the study of- the phase composition of electrochemical systems nickel-indium content from indium was detected deterministic relation between the phase composition and concentration of indium sulfate in the solution.

**Keywords:** system Ni–In, phase composition, structure

*Поступила в редакцию 18.08.2013 г.*