

ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА  
АКАДЕМІЯ

На правах рукопису

Воденніков Сергій Анатолійович

Дослідження процесів сплавоутворення  
при виділенні металів на сталевому катоді  
електролізом іонних розплавів

Спеціальність: 05.16.03 - "Металургія кольорових  
та рідкісних металів"

Автореферат  
дисертації на здобуття вченого  
ступеня кандидата технічних наук

Запоріжжя - 1994 р.

Робота виконана в Запорізькій державній інженерній академії.

Науковий керівник:

к. т. н., доцент

Темногорова Наталія Віталіївна.

Офіційні споненти:

д. т. н., професор

Олесов Юрій Георгійович

к. т. н., доцент

Черкашин Володимир Іванович

Головна організація - Відкрите акціонерне товариство

"Запорізький арматурний завод".

Захист дисертації відбудеться "29" грудня 1994р. в 12 год. на засіданні спеціалізованої наукової ради Д.08.03.01 при Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 330006, м.Запоріжжя, пр.Леніна, 226.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ЗДА.

Автореферат розісланий 25.11. 1994р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради

Колобов Г.А.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00777292 (Y)

## Загальна характеристика роботи

*Актуальність теми.* Сучасне виробництво висуває підвищені вимоги до надійності машин і механізмів, працюючих в умовах високотемпературних навантажень, абразивного і ерозійного зносів.

В останній час все більше уваги приділяється розвитку нових способів одержання одно-, двох- і багатокомпонентних покриттів, які характеризуються підвищеними експлуатаційними властивостями (жаростійкість, жароміцність, зносостійкість і т.п.). Серед великої кількості методів нанесення цих покриттів на металах важливе місце займає *електроосадження* металу-покриття із іонних розплавів. Особлива перевага електроосадження заключається в можливості одержання *прогнозованого фазового складу шара* з допомогою корегування щільності струму, а товщину шара можливо контролювати часом електролізу.

Роботи виконані як в нашій країні, так і за кордоном, дозволили одержати багаточисленні експериментальні дані по утворенню двох-, трьох- і багатокомпонентних покриттів із іонних розплавів. Але, не дивлячись на це, деякі аспекти електроосадження залишаються невивченими. Автори багатьох робіт в основному використовували хлоридно-оксидні розплави з температурою плавлення вище 1300К. Не всі роботи мали практичне значення, а більшість з них носили інформаційний характер. Недостатньо досліджені електродні процеси, процеси спільного електроосадження металів із одного розплаву, які протікають на межі електрод-електроліт. Мале число робіт піднімає питання про взаємний вплив матеріалів металу-покриття і металу-підкладки на дифузійні процеси.

Актуальною проблемою залишається вивчення процесів будування дифузійних шарів при спільному осадженні двох або

більше металів. Одним з перспективних й цікавих напрямлень є вивчення кінетики і термодинаміки процесів одержання на катоді інтерметалевих сполук з розплавів. Електроосадження алюмінію і спільного осадження з ним марганцю і ванадію з низькоплавких електролітів дає змогу одержати на різних сталевих підкладках інтерметалеві сполуки з підвищеною жаростійкістю і зносостійкістю.

*Метою даної роботи є розробка і вивчення властивостей жаростійких і зносостійких покриттів на сталі. Для досягнення цієї мети необхідно:*

- розробити методику виділення алюмінію, спільного осадження алюмінію з марганцем, а також алюмінію, марганцю і ванадію на сталевих підкладках;
- вивчити структуру, фазовий склад, розподіл елементів в дифузійних шарах;
- провести дослідження кінетики дифузії алюмінію і марганцю в сталевій підкладці;
- розрахувати термодинаміку утворення інтерметалевих сполук з чистих компонентів.

*Наукова новизна.* Вивчені особливості фазоутворення і будовання структури дифузійних шарів. Вперше експериментально визначенні потенціали виділення алюмінію, марганцю інтерметалевих сполук систем: алюміній-залізо; алюміній-марганець-залізо із відповідних іонних розплавів. Новими є дані термодинамічних розрахунків енергії Гібса утворення інтерметалевих сполук  $FeAl$ ,  $Fe_3Al$ ,  $Fe_2Al_3$ ,  $FeAl_3$ ,  $VMn_3$ ,  $VFe$ . Розраховані коефіцієнти дифузії алюмінію в сталевому катоді при електроосадженні алюмінію із іонного розплаву.

*Практична значимість.* В роботі запропоновані технології одержання на робочих поверхнях деталей пресформ для литва під

тиском двокомпонентного покриття (алюміній-залізо), трьохкомпонентного покриття (алюміній-марганець-залізо) і багатоконпонентного покриття на основі алюміній-марганець-ванадій-залізо із відповідних іонних розплавів. Спосіб одержання двох компонентного покриття із алюмінідів заліза захищено авторським свідоцтвом. Встановлені межі щільності струму, в яких виникає утворення інтерметалідів системи залізо-алюміній.

Відомості про коефіцієнти дифузії алюмінію, дані термодинамічних розрахунків зміни енергії Гібса при утворенні інтерметалідів можуть бути використані як довідковий матеріал при відповідних розрахунках.

*Промислове впровадження* результатів дисертаційної роботи проведене в умовах Запорізького виробничного об'єднання "Арматурбуда".

Технології одержання жаростійкого покриття із алюмінідів заліза дозволила збільшити строк експлуатації прес-форм литва під тиском в 4.8 разів, а також замінити дорогокоштуючу штампову сталь 3ХЗМЗФ на конструкційну сталь 40Х із збільшенням стікості оснастки в 2.4 разів.

Сумарний економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 320.5 тис. крб. (в цінах 1989р.). Ефективність впровадження склала 3.99 крб. на 1 крб. затрат.

*Апробація роботи.* Матеріали дисертації доповідались і обговорювались:

а) на VIII Всесоюзній нараді "Удосконалення технології гальванічних покриттів" (жовтень 1991р., м.Кіров);

б) на республіканській науково-технічній конференції "Матеріали і зміцнюючі технології - 91" (листопад 1991р., м.Курськ);

в) на семінарі "Нові сталі і сплави, режими їх термічної обробки" (1992р., Санкт-Петербург);

г) на науково-технічній конференції "Нові матеріали і технології для створення зносо- і корозійностійких покриттів" (грудень 1992р., м.Київ);

д) на наукових семінарах кафедри металургії чорних металів Запорізького індустріального інституту (1991-1993р.р., м.Запоріжжя).

*Структура і об'єм роботи.* Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів (частин), заключення, висновків і списку літератури.

Робота викладена на 142 сторінках машинописного тексту, вміщує 50 малюнків, 17 таблиць і 7 додатків. Бібліографія включає 106 найменувань.

#### *Особистий внесок дисертанта:*

- експериментально знайдено перехідний час за допомогою хронопотенціометричних вимірів при осадженні алюмінію на сталевому катоді;
- зняті криві виключення, побудовані та вивчені поляризаційні криві;
- вивчено і встановлено склад дифузійних інтерметалевих шарів на різних матеріалах катода, одержаних електроосадженням алюмінію і спільного осадження алюмінію з марганцем і ванадієм;
- розроблена та впроваджена технологія зміцнення литвової оснастки в умовах промислового підприємства.

#### *Короткий зміст дисертації*

У вступі обгрунтовано вибраний напрямок досліджень, визначені цілі і шляхи її досягнення.

В першому розділі узагальнені і систематизовані загальні закономірності процесів утворення двох-, трьох- і багатокомпонентних сплавів при осадженні металів електролізом іонних розплавів. Особлива увага приділена процесам утворення двохкомпонентних сплавів на основі інтерметалічних сполук система залізо-алюміній. Висвітлені конструкційні особливості печей-ванн, які використовуються для електролітичних осаджень металів із іонних розплавів. Наведена порівняльна оцінка впливу режимів електролізу на дифузійні процеси, які протікають при сплавоутворенні.

В другому розділі приведена методика підготовки зразків металу-підкладки, електролітів, які використовувались для електроосадження алюмінію, а також алюмінію, марганцю і ванадію. Наводяться конструктивні особливості розроблень лабораторної і промислової установок, які призначені для проведення процесів електролітичного осадження металів-покрить із іонних розплавів.

Наводяться методики зняття хронопотенціометричних вимірювань і кривих вимкнення з допомогою потенціостата ПИ-50-1.1., а також методики металографічного, рентгеноструктурного і мікрорентгеноспектрального дослідження поверхневих дифузійних шарів.

В третьому розділі наводяться результати досліджень одержаних дифузійних шарів на катодах, виготовлених із різних марок сталей (сталь 10, Ст. 3, 40Х, 3Х3М3Ф, 4Х5МФС, У8, СЧ20). Дослідження шарів проводили з допомогою металографічного, рентгеноструктурного і мікрорентгеноспектрального аналізів. Мікроструктури вивчались на оптичних мікроскопах "Неофат-2" і "МИМ-8". Рентгеноструктурний аналіз здійснювався на дифрактометрах "ДРОН-3М" і "ДРОН-0.5". Мікрорентгеноспектральні дослідження проводили з допомогою

мікроскопів "Самебах" і "Самеса". Зразки метала-підкладки (сталь 10, Ст.3, 40Х, 3Х3М3Ф, 4Х5МФС, У8, СЧ20) з дифузійним поверхневим шаром були одержані шляхом електроосадження алюмінію, спільних осаджень алюмінію і марганцю і алюмінію, марганцю і ванадію із відповідних іонних розплавів в межах щільності струму  $(0.5 \times 10^4 \dots 3 \times 10^4) \text{ A/m}^2$ , при різному часі електролізу 5...20 хвилин. На малюнку 1 приводиться характерна мікроструктура поверхневих дифузійних шарів, які складаються із інтерметалідів систем: залізо-алюміній; залізо-марганець-алюміній; залізо-марганець-ванадій-алюміній.



Мал.1. Мікроструктура алюмінійного дифузійного шару на сталевому електроді  $\times 300$

1 - шар алюмінію;

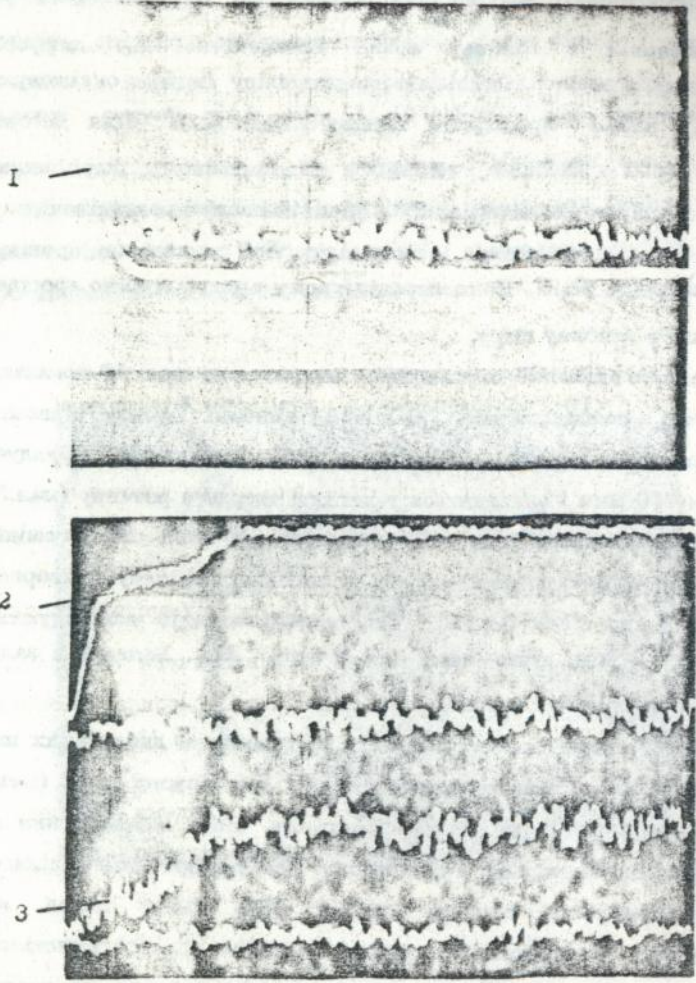
2 - інтерметалевий шар з  $FeAl$  і  $Fe, Al$ ;

3 - структура метала-підкладки

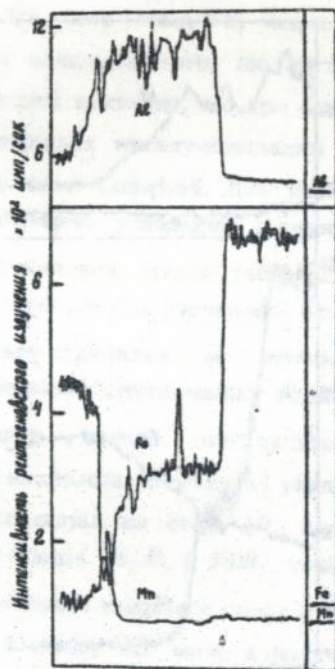
Мікрорентгеноспектральні дослідження проводили шляхом запису концентраційних кривих розподілу інтенсивності характеристичного рентгеновського розподілу  $K_{\alpha}$  - лінії сканування від поверхні в глибину шару. Встановлено, що дифузійний алюмінідний шар складається з інтерметаліду  $Fe_2Al_5$  з окантовуючим окремі "язики" прошарком інтерметаліда  $Fe_3Al$ . Для легованих сталей (40X, 3X3M3Ф, 4X5MФС) в дифузійному шарі виявлені алюміній, хром і залізо (мал.2). Алюміній і залізо розподілені по всій глибині шару, утворюючи інтерметалід  $FeAl$  з тонким прошарком інтерметаліду  $Fe_3Al$ . Концентрація хрому в шарі лінійно зростає від поверхні в глибину шару.

Аналіз алюміній-марганцевого покриття на сталі 10 показав, що алюміній розподіляється по всій глибині шару рівномірно, утворюючи з залізом інтерметалід  $FeAl$ . Марганець дифундує на глибину 40 мкм і знаходиться у вигляді твердого розчину (мал.3). В алюміній-марганець-ванадієвім покритті на сталі 10 алюміній і залізо рівномірно розподіляються по всій глибині шару з утворенням інтерметаліду  $FeAl$  (мал.4). Марганець і ванадій дифундують на глибину 10 мкм, утворюючи інтерметалід  $Mn_2$ . Ванадій з залізом утворює інтерметалід  $Fe$ .

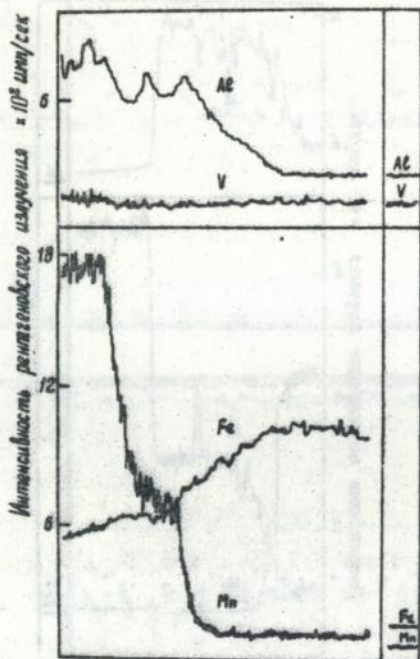
Експериментально встановлено, що товщина дифузійних шарів залежить від щільності струму (мал.5). Для кожної сталі (метала-підкладки) існує межа щільності струму, після перевищення якої ріст шару припиняється, а на поверхні металу-підкладки виділяється метал-покриття в чистому вигляді. При цьому метал, який виділявся, накопичується, потім опливає і розчиняється в електроліті. Час електролізу також помітно впливає на товщину дифузійного шару (мал.6). При збільшенні часу електролізу дифузійний шар зростає.



Мал.2. Розподіл алюмінію(1), заліза(2) і хрома(3)  
в дифузійному алюмінідному шарі  
для сталей: 40Х, 3Х3М3Ф, 4Х5МФС  
на рівні фоку (x 400)



Мал.3. Розподіл алюмінію, заліза і марганцю  
в дифузійному шарі сталі 10  
(товщина шару 120 мкм)



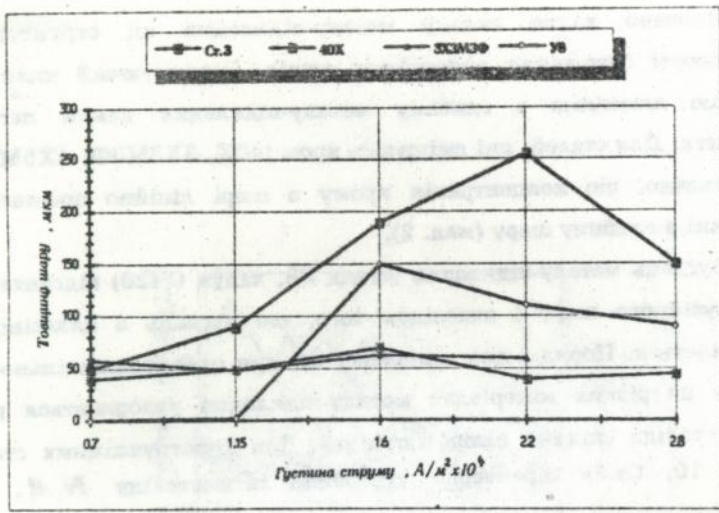
Мал.4. Розподіл алюмінію, заліза, ванадію і марганцю  
в дифузійному шарі сталі 10  
(товщина шару 100 мкм)

Вивчено вплив складу металу-підкладки на структуру і властивості одержаних дифузійних шарів. Тормозуючий вплив на дифузію алюмінію в глибину металу-підкладки дають легуючі елементи. Для сталей, які вміщують хром (40X, 3X3M3Ф, 4X5MФC), встановлено, що концентрація хрому в шарі лінійно зростає від поверхні в глибину шару (мал. 2).

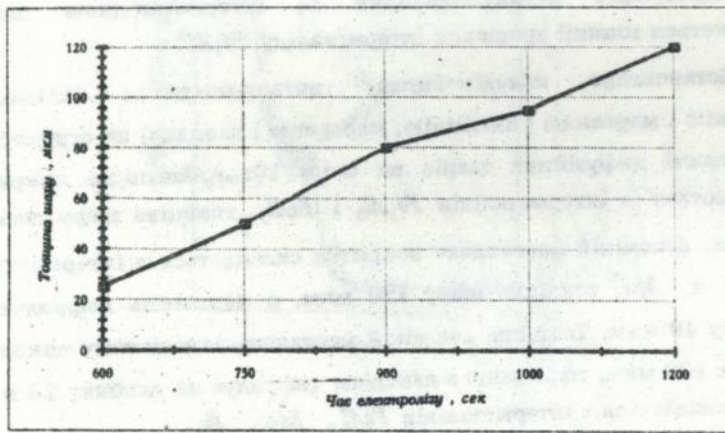
Вуглець металу-підкладки (сталь У8, чавун СЧ20) відганяється із дифузійного шару і внаслідок того, що вуглець в алюмінії не розчиняється. Поряд з цим виявлено, що при однакових щільностях струму на різних матеріалах металу-підкладки утворюються різні інтерметаліди системи залізо-алюміній. Для конструкційних сталей (сталь 10, Ст.3) характерно утворення інтерметаліду  $Fe_3Al$ , для інструментальних і штампових сталей (40X, 3X3M3Ф, 4X5MФC) характерно утворення  $FeAl$ , а для вуглецевої сталі У8 -  $FeAl_3$ . Для всіх матеріалів металу-підкладки за інтерметалідним шаром виявляється тонкий прошарок інтерметаліду  $Fe_3Al$ .

Встановлено вплив складу металу-покриття (алюміній, алюмінію і марганцю і алюмінію, марганцю і ванадію) на структуру і властивості дифузійних шарів на сталі 10. Алюмінідні покриття складаються із інтерметалідів  $Fe_2Al_5$  і  $FeAl_3$ , товщина шару досягає 60 мкм. Алюміній-марганцеве покриття складається з інтерметаліду  $FeAl$  і  $\alpha - Mn$ , товщина шару 120 мкм, а марганець дифундує на глибину 40 мкм. Товщина алюміній-марганець-ванадієвому покриття досягає 100 мкм, марганець з ванадієм дифундує на глибину 20 мкм. Шар складається з інтерметалідів  $FeAl$ ,  $Mn_3$ ,  $Fe$ .

Також в цьому розділі наводяться результати дослідження впливу концентрації металу-підкладки на товщину дифузійних шарів. Встановлено, що товщина алюмінідних покриттів на впадинах різьбової поверхні складає 20 мкм, а на виступах всього 10 мкм. Це вказує на те, що проходить геометричне вирівнювання поверхні.



Мал.5. Залежність товщини алюмінідних шарів від щільності струму для різних сталевих підкладок



Мал.6. Залежність товщини алюмінідних шарів від часу електролізу для чавунної підкладки

В четвертому розділі представлений експериментальний матеріал по катодній поляризації сталевго катоду (Ст.3) в розплавлених електролітах (16.6% NaCl, 30% NaF, 53.4% AlF<sub>3</sub>) і

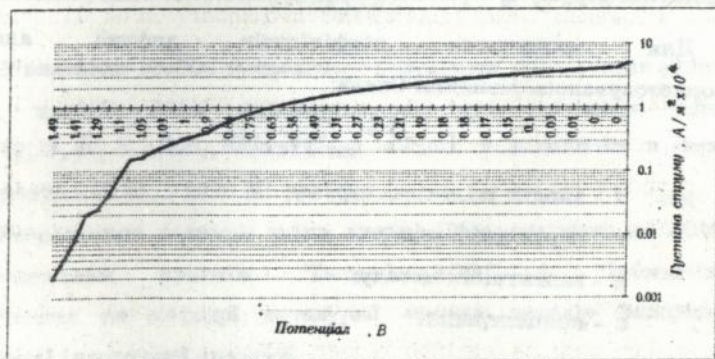
(26.7%  $AlF_3$ , 17.3%  $NaCl$ , 15%  $NaF$ , 25%  $KCl$ , 16%  $MnCl_2$ ), при електроосадженні алюмінію і спільного осадження алюмінію і марганцю відповідно.

На мал.7 зображена поляризаційна крива електроосадження алюмінію на сталевому катоді.

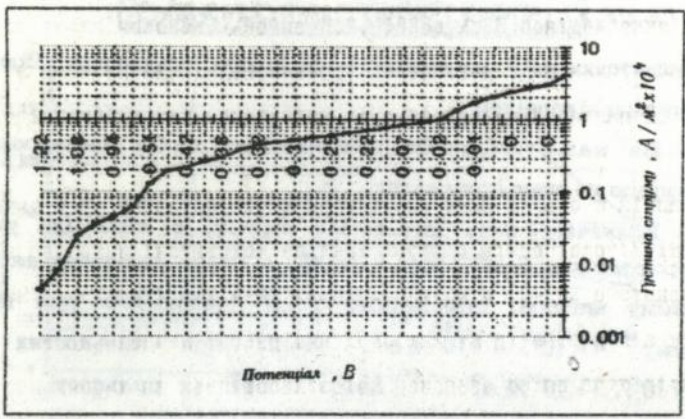
Визначені межі щільностей струму, в яких іде утворення інтерметалідів  $Fe_3Al$ ,  $FeAl$  і  $Fe_2Al_5$ , а також виділення алюмінію в чистому вигляді. Інтерметалід  $Fe_3Al$  утворюється при щільності струму  $4 \times 10^2 \dots 2 \times 10^3 \text{ A/m}^2$ ,  $Fe_2Al_5$  при щільностях струму  $1.5 \times 10^4 \dots 3 \times 10^4 \text{ A/m}^2$ ,  $FeAl$  при щільності струму  $4 \times 10^3 \dots 5 \times 10^3 \text{ A/m}^2$ . Чистий алюміній виділяється при щільностях струму вище  $3 \times 10^4 \text{ A/m}^2$ .

На мал.8 представлена поляризаційна крива спільного електроосадження алюмінію і марганцю на сталевому катоді.

Визначено, що алюміній спільно з марганцем виділяється в межі щільностей струму  $(9 \times 10^1 \dots 2 \times 10^3) \text{ A/m}^2$ , а інтерметалід  $FeAl$  утворюється в межі  $(2 \times 10^3 \dots 6 \times 10^3) \text{ A/m}^2$ .



Мал. 10. Поляризаційна крива сталевому катоду при електроосадженні алюмінію із розплаву електроліту ( $NaCl - KCl - AlF_3$ )



Мал. 11. Полярizaційна крива сталевго катоду (Ст.3) при спільному електроосадженні алюмінію з марганцем із розплаву електроліту ( $AlF_3 - NaF - NaCl - KCl - MnCl_2$ )

В п'ятому розділі наводяться експериментальні дані (табл.1) дифузії алюмінію в сплавах системи залізо-алюміній при температурі 998 К, катодній щільності струму  $i_k = 1 \times 10^4 \text{ А/м}^2$  і анодних щільностях струму  $i_a = (0...1 \times 10^4) \text{ А/м}^2$ .

Для визначення коефіцієнтів дифузії алюмінію використовувалось рівняння Санда:

$$D = \frac{4i^2\tau}{\pi n^2 F^2 c^2}$$

- де:  $i$  - анодна щільність струму;
- $\tau$  - перехідний час;
- $n$  - валентність металу;
- $c$  - концентрація.

Перехідний час  $\tau$  знаходився експериментально з<sup>о</sup> допомогою хронопотенціометричних вимірів на потенціостаті ПИ-50-1.1. Концентрація алюмінію  $c$  в сплаві залізо-алюміній розраховувалось по формулі:

$$C_{Al} = \frac{x_{Al} \rho_{спл}}{x_{Al} A_{Al} + x_{Fe} A_{Fe}}$$

де:  $A_{Al}, A_{Fe}$  - атомні маси алюмінію і заліза;

$x_{Al}, x_{Fe}$  - атомні долі алюмінію і заліза в сплаві.

Таблиця 1

Експериментальні дані і результати  
розрахунків коефіцієнтів дифузії алюмінія

$i_A \times 10^4$ , $A/M^2$	$\tau$ , сек	$\tau^{1/2}$ , сек <sup>1/2</sup>	$i_A^{1/2} \times 10^4$ , $\frac{A \times c \times \tau^{1/2}}{M^2}$	$1/i \times 10^{-4}$ , $M^2/A$	$x_{Al}$	$\rho_{спл} \times 10^6$ , $г/M^3$	$C_{Al} \times 10^6$ , $г - ат/M^3$	$D_A \times 10^6$ , $m^2/сек^{-1}$
0.09	4.2	2.05	0.18	11.1	0.10	7.113	0.013	3.05
0.13	1.9	1.38	0.18	7.69	0.14	6.901	0.019	1.35
0.16	1.5	1.22	0.19	6.25	0.16	6.796	0.021	1.32
0.19	1.2	1.09	0.21	5.26	0.18	6.691	0.024	1.14
0.30	0.5	0.71	0.21	3.33	0.25	6.321	0.032	6.68
0.50	0.2	0.45	0.22	2.00	0.32	5.621	0.038	5.16
0.70	0.1	0.32	0.22	1.43	0.40	5.012	0.046	3.51

В шостому розділі приводяться результати розрахунків величин зміни енергії Гібса при утворенні інтерметалічних сполук  $FeAl, Fe_2Al, Fe_3Al, FeAl_3, VMn_3, VFe$  з чистих компонентів в межах температур 973 К ... 1873 К.

Розрахунки величин зміни енергії Гібса виконані на ЕОМ, з використанням програм "Thermodynamic" і "Intermetall", розроблених на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

В заключенні обговорюються результати, одержані нами при вивченні процесів електроосадження алюмінію, спільних осаджень алюмінію і марганцю, алюмінію, марганцю, і ванадію із різних

іонних розплавів. Наведені результати промислового використання матеріалів дисертації в умовах Запорізького виробничого об'єднання "Арматуробуд".

### Висновки

1. Основним змістом роботи є експериментальне вивчення процесів електроосадження алюмінію, спільних осаджень алюмінію і марганцю; алюмінію, марганцю і ванадію на сталевих підкладках (сталь 10, Ст. 3, 40X, 3X3M3Ф, 4X5MФС, У8, СЧ20).
2. Запропоновані технології одержання на поверхні сталевих виробів зміцнюючих дифузійних шарів із інтерметалевих сполук систем: залізо-алюміній, залізо-алюміній-марганець, залізо-марганець-ванадій.
3. Встановлено, що фазовий склад, структура, товщина дифузійних шарів і розподілення елементів метало-покриття-підкладки залежить від режимів електролізу.
4. Розраховані коефіцієнти дифузії алюмінію в сталевому катоді для щільностей струму  $(0...1 \times 10^4) \text{ A/m}^2$ .
5. Вивчені електродні процеси на межі електрод-електроліт для електроосадження алюмінію і спільного осадження алюмінію з марганцем. Визначені межі щільностей струму, в яких іде утворення інтерметалідів систем: залізо-алюміній, залізо-марганець-алюміній.
6. Проаналізовані особливості фазоутворення дифузійних шарів в залежності від матеріалу металу-підкладки і металу-покриття.
7. Розраховані величини зміни енергії Гібса при утворенні інтерметалевих сполук  $FeAl$ ,  $Fe_2Al$ ,  $Fe_3Al$ ,  $FeAl_3$ ,  $VMn_3$ ,  $VFe$  із чистих компонентів.

8. Показана економічна ефективність від впровадження в умовах Запорізького виробничого об'єднання "Арматуробуд" процесу електролітичного одержання захисного жаростійкого покриття із алюмінідів заліза на робочій поверхні матриць прес-форм литва під тиском.

*Основний зміст дисертації надруковано в роботах:*

1. Воденников С.А., Богуславский Д.Ю., Темногорова Н.В. Получение электролитическим способом интерметаллидов системы  $Al-Pt$  на поверхности изделий, спрессованных из титанового порошка. // Сборник н.трудов "Технология и оборудование производства цветных и черных металлов и сплавов". - Киев, 1991. - с. 34-37.
2. Темногорова Н.В., Воденников С.А. и др. Повышение стойкости формообразующих деталей путем замены стали 3Х3М3Ф на сталь 40Х с диффузионным алюминидным слоем на ее поверхности. / Известия вузов Черная металлургия. № 7, 1992, С. 53-54.
3. А.С. 1708941 (СССР) Способ электрохимического алюминирования. / Темногорова Н.В., Хараман И.П., Воденников С.А. и др. - Опубл. 30.01.92 Бюл. № 4.
4. Темногорова Н.В., Воденников С.А., Кулик А.Ф. Применение алюминидных покрытий для формообразующих деталей. // VIII Всесоюзное совещание "Совершенствование технологии гальванических покрытий". Тез. докл. - Киров, 1991, С. 32-33.
5. Темногорова Н.В., Воденников С.А. Получение защитных покрытий на основе интерметаллических соединений системы железо-алюминий электролитическим способом. // Республиканская научно-техническая конференция "Материалы, упрочняющие технологии - 91" Тез. докл., - Курск, 1991, С. 62-63.

Vodennikov S.A. Investigation about processes of alloy-formation with metals allocation in the steel cathode by electrolysis of ion meets.

Master's thesis for a Candidate of Science on speciality 05.16.03 - metallurgy of nonferrous and rare metals. Zaporoghye State Engineering Academy. Zaporoghye, 1994.

It will be defended 4 scientific works and one author's certificate contained theoretical and experimental researches about alloy-formation with metals allocation from in meets by electrolysis.

It was determined that the structure, phase composition, diffusion layers thickness and distribution of metal-coating-uncler coating elements are depended on electrolysis conditions. It was defined intervals of a current density where intermetallide systems were formed: iron-aluminium, iron-manganese-aluminium. Coefficients of aluminium diffusion in the steel cathode for the current density from 0 to  $1 \times 10^4 \text{ A/m}^2$  were calculated. Results of the industrial adoption of the Master's thesis are carrying out at Zaporoghye industrial enterprise "Armaturostroeniye".

Воденников С.А. Исследование процессов сплавообразования при выделении металлов на стальном катоде электролизом ионных расплавов. Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.03 - металлургия цветных и редких металлов, Запорожская государственная инженерная академия. Запорожье. 1994. Защищается 4 научных работы и одно авторское свидетельство, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования процессов сплавообразования, протекающих при выделении металлов из ионного расплава электролизом. Установлено, что структура, фазовый состав, толщина диффузионных слоев и распределение элементов металлов покрытия и подложки зависят от режимов

электролиза. Определены интервалы плотностей тока, в которых идет образование интерметаллидов систем: железо-алюминий, железо-марганец-алюминий. Рассчитаны коэффициенты диффузии алюминия в стальном катоде для плотностей тока от 0 до  $1 \times 10^4$  А/м<sup>2</sup>. Приводятся результаты промышленного внедрения материалов диссертации в условиях Запорожского производственного объединения "Арматуростроение".

Ключові слова: сплавоутворення, електроліз, інтерметаліди, густимість струму, дифузія.



Підписано до друку 18 11 84  
Формат 80х84 1/16 Обсяг 1арл.  
Тираж 25прим. Зам.№6022  
Друк офсетний.  
Друкарня "Дніпровський металург"  
м.Запоріжжя, вул.Автова, 4



AB 31.479

**AB 31.479**