

Результаты исследования износа показали повышение износостойкости по сравнению с образцами без покрытия при применении шеелитового концентрата в 1,1 – 1,3 раза, а датолитового и бадделеитового концентрата в 1,2 – 1,5 раза.

Полученная информация о толщине образуемых покрытий и величинах износа позволяет в первом приближении определить ресурс работы используемых покрытий и назначить соответствующие режимы процесса. Так, покрытия, образуемые при использовании шеелитового концентрата, имеют ресурс работы 5,56 км при  $T_n = 10$  мкм,  $H_{\mu} = 9,9$  ГПа и ресурс 16,67 км при  $T_n = 20$  мкм,  $H_{\mu} = 10,0$  ГПа; при использовании бадделеитового и датолитового концентратов ресурс работы покрытия составляет 5,77 км при  $T_n = 15$  мкм,  $H_{\mu} = 9,3$  ГПа и 14,7 км при  $T_n = 25$  мкм,  $H_{\mu} = 9,94$  ГПа.

#### **Выводы**

1. Установлена возможность использования порошкового электродного материала из минерального сырья (шеелитовый, датолитовый, бадделеитовый концентраты) для формирования покрытий на металлической подложке.

2. Определены зависимости толщины сформированного покрытия, его микротвердости, величины износа, коэффициентов трения от состава порошкового материала и режимов процесса ЭИЛ.

3. Получены экспериментальные зависимости, позволяющие определить ресурс работы сформированных покрытий и выбрать необходимые режимы обработки.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Врублевский А.А., Мулин Ю.И. Использование порошковых материалов из минерального сырья в процессах упрочняющей обработки // Исследования Института материаловедения в области создания материалов и покрытий. Владивосток, 2001. С. 89 – 91.
2. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев, 1985.
3. Петрович М.А., Давидович М.И. Статистическое оценивание и проверка гипотез на ЭВМ // Финансы и статистика. М., 1969.

*Поступила 3.07.02*

#### **Summary**

In the work results of researches of a metal surfaces hardening by electrospark alloying with powder materials consisted of sheelite, datolite, and baddelite concentrates have been presented.

---

Ж.И. Бобанова, Д.М. Кроитору, Г.В. Гурьянов

### **ВЛИЯНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИОНОВ НА ПРОЦЕССЫ СООСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛОВ**

*Институт прикладной физики Академии наук Молдовы,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD–2028, Республика Молдова*

Соосаждение металлов и неметаллов лежит в основе получения композиционных электрохимических покрытий (КЭП), обладающих уникальными свойствами, например, экономичностью, и представляющих в связи с этим значительный практический интерес для машиностроения и ремонтного производства.

Управление структурой и составом КЭП в процессе электроосаждения позволяет получать покрытия с заданными комплексами свойств. Выбор упрочняющей дисперсной фазы и состава электролита, установление зависимости состава покрытий от параметров электролиза, физико-

химических свойств компонентов электролита и характеристик дисперсной фазы имеют большое значение для получения и практического использования композиционных электрохимических покрытий.

Эффективным путем воздействия на формирование КЭП [1] является использование неорганических ионов-стимуляторов. Однако недостаточно выявлена функциональная роль неорганических катионов в процессах получения покрытий и не изучен механизм их воздействия на соосаждение дисперсных частиц и металлов, что не позволяет проводить обоснованный выбор стимуляторов для конкретных условий электролиза и составов композиций.

В качестве основной причины влияния стимуляторов на соосаждение дисперсных неорганических веществ и металлов по имеющимся литературным данным рассматривают изменение ими заряда частиц, структуры воды, выравнивающей способности электролитов и поляризации катода, адсорбции ионов на частицах [1]. В работе исследовали процессы соосаждения металла и дисперсных неметаллических частиц в электролитах железнения в присутствии неорганических катионов.

#### **Методика эксперимента**

Для осаждения КЭП использовали электролиты, содержащие одновалентные неорганические ионы больших размеров. Изучено влияние ионов  $Rb^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Tl^+$ ,  $Ce^+$ , и др. на концентрацию дисперсной фазы в покрытии, выравнивающую способность электролитов железнения, емкость двойного электрического слоя, величину дзета-потенциала частиц дисперсной фазы,  $pH_s$  прикатодного слоя, поляризацию разряда ионов железа. Соосаждение металлов и дисперсных неметаллических веществ проводили в хлористом электролите железнения (хлористое железо – 400 г/л,  $pH = 0,8-1,0$ ) с добавками частиц  $Al_2O_3$  и катионов  $Rb^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Ce^+$ ,  $Tl^+$ , которые вводили в электролит в виде солей  $RbCl$ ,  $Cs_2SO_4$ ,  $Ce_2SO_4$ ,  $TlCH_3COO$ . Для получения КЭП применяли стеклянные электролизеры. Катодами служили образцы с рабочей поверхностью  $0,5 \cdot 10^{-2}$   $dm^2$ . Перемешивание электролита-суспензии обеспечивали с помощью магнитных мешалок.

Влияние ионов на катодные процессы при осаждении железа изучали с использованием метода регистрации потенциодинамических поляризационных кривых.

Выход по току металла определяли весовым методом с помощью кулометра [2]. Количество дисперсной фазы в покрытиях устанавливали весовым методом после растравливания металлической матрицы в растворе соляной кислоты [3]. Емкость двойного электрического слоя определяли импульсным методом [4].

Для определения  $pH$  прикатодного слоя ( $pH_s$ ) применяли микростеклянный электрод. По форме электрод аналогичен капилляру Луггина, на торец которого нанесена пленка электродного стекла. Диаметр капилляра 0,2 мм [5]. Для измерений использовали  $pH$  метр – 340.

Выравнивающую способность электролитов железнения изучали профилографированием образцов с регулярным синусоидальным профилем, на который наносили слой КЭП толщиной 20, 50, 100, 150 мкм, и снятием поляризационных кривых на вращающемся электроде при различных скоростях вращения. Снятие кривых шероховатости проводили на профилографе. Мерой выравнивающей способности при измерении катодной поляризации на вращающемся дисковом электроде являлась разность потенциалов при скоростях вращения 360 и 1500 об/мин [6].

Перенапряжение выделения водорода определяли на основе катодных гальваностатических кривых, снятых на Fe электроде с электроосажденным железным покрытием в 0,1 N HCl в атмосфере водорода. Вспомогательным электродом служила Pt проволока. Потенциал измеряли относительно хлор-серебряного электрода [7].

Для определения величины и знака электрокинетического потенциала дисперсной фазы в электролите применяли метод электроосмоса в порошковых диафрагмах [8].

Адсорбцию ионов на частицах устанавливали методом эмиссионного спектрального анализа [9].

#### **Результаты исследований**

Образование КЭП и распределение дисперсных частиц в покрытии зависят от многих факторов: состава электролитов-суспензий, природы дисперсных частиц (их смачиваемости, электрокинетических свойств), а также от условий осаждения.

Включению дисперсных частиц в железные покрытия способствуют неорганические ионы, добавленные в электролиты железнения.

Исследования показали, что одновалентные ионы влияют на соосаждение частиц в покрытиях, причем таллий и цезий увеличивают содержание дисперсной фазы  $Al_2O_3$  в металлической матрице, а рубидий и церий уменьшают его (табл. 1). Концентрация окиси алюминия в покрытии росла в зависимости от природы катионов добавки в следующей последовательности:  $Tl^+ > Cs^+ > Fe^{2+} >$

$Rb^+ > Ce^+$ . Подобная закономерность наблюдалась и для КЭП на основе никеля, серебра, меди, хрома [10]. Ионы таллия значительно увеличивают содержание  $Al_2O_3$  в КЭП (в 1,5 – 2 раза).

Одновалентные крупные ионы способны влиять на содержание дисперсных частиц в покрытии за счет: изменения структуры адсорбированных молекул в двойном электрическом слое; структурной составляющей расклинивающего давления; изменения выравнивающей способности электролита; изменения условий образования и стабильности гидроокисных соединений в приэлектродном слое и влияния их на электрохимическое состояние поверхности катода.

Таблица 1. Влияние неорганических ионов на содержание дисперсных частиц  $Al_2O_3$  в железных покрытиях

№	Состав электролита: $FeCl_2$ – 400 г/л, рН = 0,8 – 1,0	Количество включений $Al_2O_3$ в покрытии, %
1	$FeCl_2$ без добавок	7,86
2	$FeCl_2$ + 5 г/л церия сернокислого	4,66
3	$FeCl_2$ + 5 г/л рубидия хлористого	4,68
4	$FeCl_2$ + 5 г/л цезия сернокислого	10,72
5	$FeCl_2$ + 5 г/л таллия уксуснокислого	12,01

Дисперсные частицы, обладая высокой удельной поверхностью, подвергаясь обменным процессам в растворах электролитов, приобретают различный электрический потенциал. Добавки одновалентных неорганических ионов за счет адсорбции могут изменять заряд неметаллических частиц, при этом как увеличивать, так и уменьшать его [11, 12] и вследствие этого влиять на процесс захвата матрицей дисперсных частиц и их процентное содержание в покрытии.

Измерения электрокинетических потенциалов, проведенных для суспензии окиси алюминия, выявили, что заряд частиц в разбавленных растворах хлористого железа имеет небольшую величину и незначительно меняется при введении неорганических катионов. В электролитах железнения дзета-потенциал дисперсной фазы  $Al_2O_3$  уменьшался в зависимости от природы катиона в следующей последовательности:  $Fe^{2+} > Cs^+ > Tl^+ > Rb^+ > Ce^+$  (табл. 2).

Анализ результатов исследований свидетельствует о незначительной роли поверхностного заряда частиц дисперсной фазы при формировании КЭП в присутствии неорганических катионов, то есть влияние природы и концентрации неорганических катионов на величину и знак заряда дисперсной фазы не является определяющим фактором при соосаждении их с металлом.

Роль одновалентных неорганических ионов больших размеров в процессе соосаждения дисперсных веществ и металла наиболее эффективно должна проявляться на стадиях адсорбции и зарастивания дисперсной фазы. При адсорбции между частицей и катодом формируются кинетически равновесные частицы, создающие расклинивающее давление, препятствующее зарастиванию частиц. В этом случае затруднения в образовании КЭП могут быть обусловлены влиянием ионов на структуру фазовых слоев, поведение коллоидных частиц в приэлектродном слое и выравнивающую способность электролита.

Таблица 2. Зависимость дзета-потенциала от природы катиона добавки

№	Состав электролита: $FeCl_2$ – 400 г/л, рН = 0,8 – 1,0	$\zeta$ – потенциал, мВ	
		внутренний	наружный
1	$FeCl_2$ без добавок	14,35	13,81
2	$FeCl_2$ + 5 г/л $Ce_2SO_4$	0,45	2,70
3	$FeCl_2$ + 5 г/л $RbCl$	1,03	3,44
4	$FeCl_2$ + 5 г/л $Cs_2SO_4$	9,48	8,45
5	$FeCl_2$ + 5 г/л $TlCH_3COO$	4,075	4,85

О состоянии фазовых слоев на электроде судили по изменению емкости двойного электрического слоя катода. В зависимости от природы катиона емкость двойного электрического слоя снижалась в ряду:  $Ce^+ < Fe^{2+} < Tl^+ < Rb^+ < Cs^+$  (табл. 3). Одновалентные ионы могут разрушать или упрочнять структуру молекул воды, адсорбированных в двойном электрическом слое. Малые ионы могут проникать в структурные пустоты воды и стабилизировать ее структуру, в то время как большие ио-

ны могут вызвать ее разрушение. Влияние ионов на структуру воды зависит от их зарядов и размеров. Оно изменяется в зависимости от величины отношения заряда к радиусу, теплоты гидратации и потенциала ионизации. Сопоставление радиусов ионов с теплотами и числами их гидратации, характеризующими способность изменять структуру воды, позволило расположить исследуемые катионы по способности разрушать структуру воды в следующем порядке:  $Cs^+ > Rb^+ > Tl^+ > Ce^+ > Fe^{2+}$ .

Таблица 3. Влияние неорганических ионов на емкость двойного электрического слоя железного катода

№	Электролит	Емкость, мкФ/см <sup>2</sup>
1	FeCl <sub>2</sub> без добавок	7,1
2	FeCl <sub>2</sub> + 5 г/л Ce <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,0
3	FeCl <sub>2</sub> + 5 г/л RbCl	10,0
4	FeCl <sub>2</sub> + 5 г/л Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12,0
5	FeCl <sub>2</sub> + 5 г/л TlCH <sub>3</sub> COO	9,8

Включению дисперсных частиц в покрытие способствует адсорбция на них одновалентных ионов и ионов осаждаемого металла. Методом эмиссионного спектрального анализа обнаружена адсорбция на частицах дисперсной фазы только ионов таллия. Другие ионы (церий, цезий) не адсорбируются. Вместе с этим снижение емкости двойного электрического слоя и обнаруженная симбатность между изменением емкости и теплотами гидратации, а также размерами ионных радиусов может быть связано с разрушением структуры воды и возможной адсорбцией неорганических ионов на катоде по механизму «выжимания», предложенному Б.Б. Дамаскиным [13]. Поскольку рассматриваемые ионы обладают отрицательной гидратацией, они разрушают структуру воды и «выжимаются» на границу раздела подобно молекулам органических веществ.

Органические вещества, образуя водородные связи с молекулами воды, снижают энергию связи растворителя с поверхностью металла и вытесняют молекулы воды со значительной части поверхности катода.

По нашим данным, специфически адсорбирующиеся ионы Tl, Rb и Cs увеличивают емкость железного электрода, а укрепляющие структуру воды ионы церия ее уменьшают. Рубидий и цезий относительно мало отличаются по способности разрушать структуру воды и соответственно их влияние на емкость двойного слоя почти равнозначно.

В настоящей работе характеристикой выравнивающей способности ( $L$ ) была разность потенциалов при двух скоростях вращения, а в качестве ингибирующего действия ( $\Delta\eta$ ) – повышение катодной поляризации при введении неорганических ионов. За меру ингибирующего действия был принят сдвиг потенциала  $\Delta\eta = \varphi_1 - \varphi_2$ , где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – потенциалы катода в растворе без добавок и с добавкой при одинаковой скорости вращения и плотности тока; мерой выравнивающего действия в этом случае является разность значений:  $L = \Delta\eta_{1500} - \Delta\eta_{300}$ .

Изменение скорости вращения катода в сульфатно-хлоридном и хлористом электролите железнения без добавок практически не оказывало влияния на ход поляризационных кривых, электролиты имеют слабое положительное выравнивание. Изменение концентрации солей железа не повлияло существенно на выравнивающую способность электролитов. Электролиты железнения обладают слабо выраженной выравнивающей способностью. Влияние неорганических ионов на выравнивающие свойства электролитов железнения показано в табл. 4. Результаты испытаний в хлористом электролите указывают на отсутствие параллелизма между их ингибирующим и выравнивающим действием. Установлено, что добавки катионов таллия, цезия, рубидия обладают антивыравнивающей способностью. Выравнивающая способность электролитов железнения при введении ионов – в количестве 2 г/л уменьшается в последовательности  $Cs^+ < Rb^+ < Tl^+ < Ce^+ < Fe^{2+}$ .

Обнаружено, что ионы-стимуляторы незначительно изменяют выравнивающую способность электролитов и вследствие этого мало влияют на микрошероховатость осадков и включение дисперсных частиц в покрытия, так как именно наличие микровпадин в осадках облегчает задержку дисперсных частиц на поверхности катода. Влияние неорганических ионов на выравнивающую способность является менее значимым, чем их воздействие на структуру фазовых слоев и поляризацию катода.

В условиях, когда влияние ионов на величину структурной составляющей расклинивающего давления незначительно, роль одновалентных неорганических катионов в соосаждении металлов и неметаллических веществ определяется их влиянием на процесс разряда металла и водорода, измене-

нием скорости электродных реакций в присутствии ионов, а вследствие этого и изменениями в приэлектродном слое, связанными с образованием коллоидных гидроокисей промежуточных продуктов реакции, стабилизацией  $pH_s$  прикатодного слоя.

Таблица 4. Ингибирующее  $\Delta\eta$  и выравнивающее  $L$  действие добавок в хлористом электролите ( $pH = 0,8, t = 20^\circ C$ )

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	$\Delta\eta$ , мВ	$L$ , мВ	$\Delta\eta$ , мВ	$L$ , мВ
	При концентрации добавки, г/л			
	2		5	
Рубидий хлористый				
1	0	0	1	0
2	7	3	8	5
3	10	2	5	10
Цезий серноокислый				
1	-3	-1	10	5
2	-1	-1	20	10
3	-1	-2	50	15
Церий серноокислый				
1	10	5	30	10
2	20	15	40	18
3	25	10	50	28
Таллий уксуснокислый				
1	8	6	4	10
2	5	7	2	7
3	5	4	4	10

Влияние неорганических ионов на поляризационные кривые, перенапряжение водорода,  $pH_s$  прикатодного слоя, буферную емкость показано на рис. 1 – 5.

Хорошо видно различие во влиянии ионов на величину стационарного потенциала железного электрода и катодную поляризацию: церий, рубидий, цезий сдвигают стационарный потенциал электрода в положительную область в большей степени, чем таллий (табл. 5).

Сдвиг поляризации катода в отрицательную сторону наибольший в присутствии ионов цезия. Рубидий смещает поляризацию выделения железа в область положительных потенциалов (рис. 1).

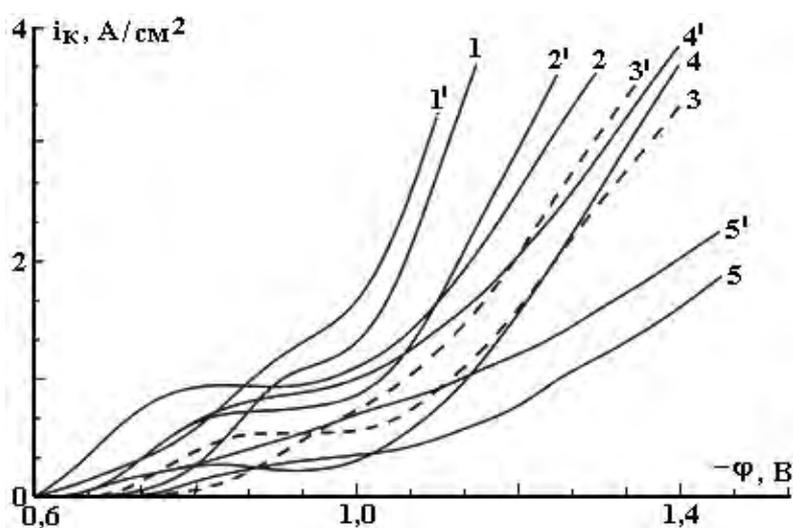


Рис. 1. Поляризационные кривые, полученные в хлористом электролите железнения с добавками неорганических катионов на вращающемся дисковом электроде в отсутствии добавок (2, 2') и их наличии (концентрации 5 г/л):  $RbCl$  (1, 1'),  $TlCH_3COO$  (3, 3'),  $Ce_2SO_4$  (4, 4');  $Cs_2SO_4$  (5, 5'). Скорость вращения электрода 300 об/мин (1 – 5) и 1500 об/мин (1' – 5')

Сравнение кривых перенапряжения водорода и выходов по току железа показало, что цезий и таллий увеличивают перенапряжение водорода на железе, а рубидий уменьшает его по сравнению с электролитами без добавок (рис. 2). Это коррелирует с измерениями выхода по току. Максимальное его снижение наблюдается в растворе, содержащем добавку соли рубидия (рис. 3).

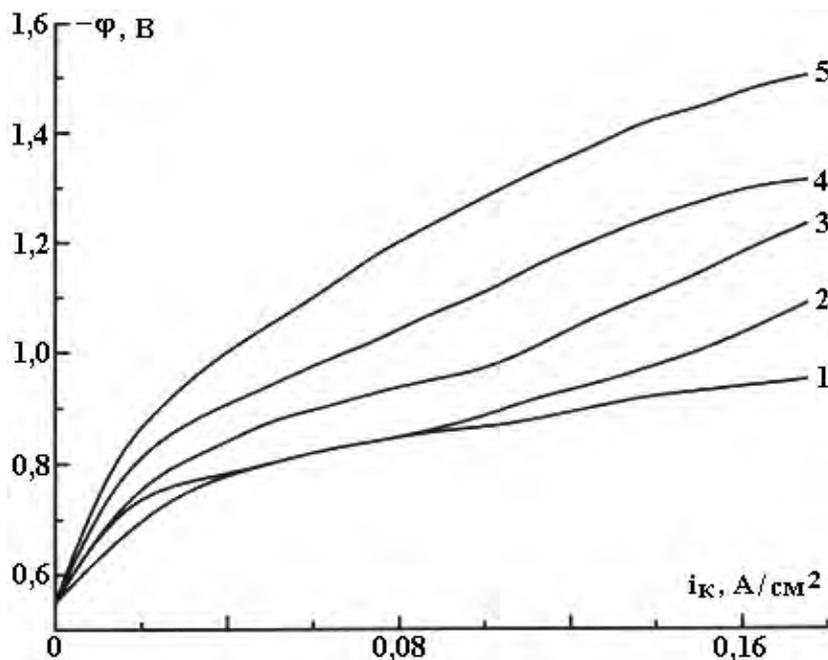


Рис. 2. Перенапряжение водорода на электролитическом железе в растворе 0,1М HCl в отсутствии добавок (2) и с добавками неорганических ионов (концентрация 5 г/л): RbCl ( 1 ),  $Se_2SO_4$  (3),  $Cs_2SO_4$  (4),  $TlCH_3COO$  (5)

Экспериментальные данные определения  $pH_s$  прикатодного слоя показали, что в интервале катодных плотностей тока от 0,05 до 0,25 А/см<sup>2</sup> в электролите железнения в присутствии неорганических ионов наблюдается уменьшение  $pH_s$  (рис. 4), по сравнению с  $pH_s$  в электролите без добавок.

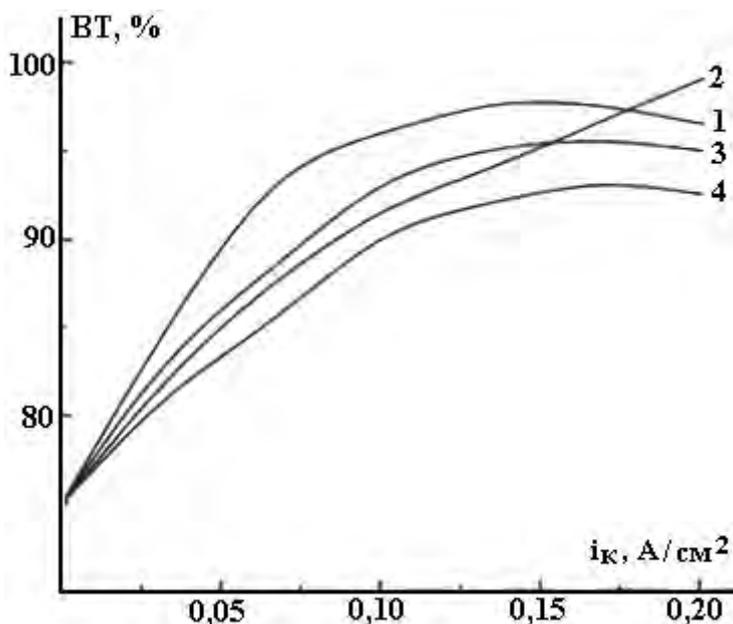


Рис. 3. Влияние неорганических ионов на выход по току железа в хлористом электролите железнения в отсутствие добавок (2) и с добавками (концентрация добавок – 5 г/л): 1 –  $Se_2SO_4$ , 3 –  $TlCH_3COO$ , 4 – RbCl

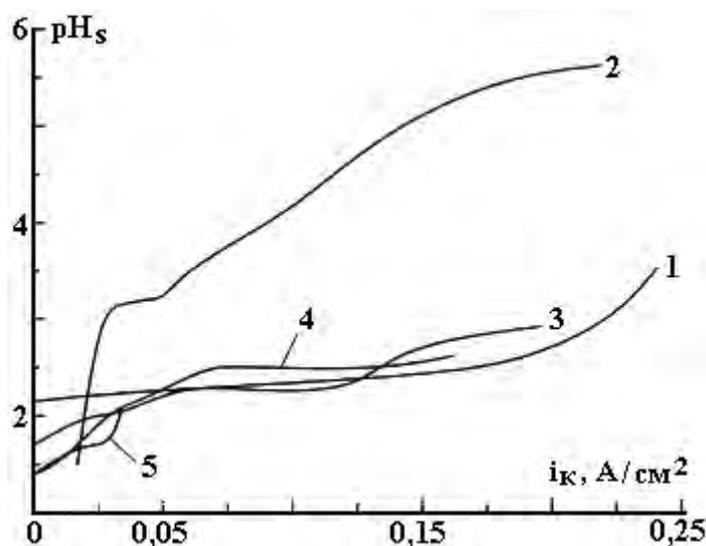


Рис. 4. Влияние неорганических ионов на  $pH_s$  прикатодного слоя железного электрода в хлористом электролите в отсутствие добавок (2) и при их наличии: 1 –  $RbCl$ , 3 –  $TiCH_3COO$ , 4 –  $Cs_2SO_4$ , 5 –  $Ce_2SO_4$ . Концентрация добавок составляет 5 г/л

Таблица 5. Влияние неорганических катионов на  $\phi_{стац.}$ , мВ

Электролит	$\phi_{стац.}$ , мВ
$FeCl_2$ без добавок	660
$FeCl_2 + 5$ г/л $TiCH_3COO$	620
$FeCl_2 + 5$ г/л $Cs_2SO_4$	590
$FeCl_2 + 5$ г/л $Ce_2SO_4$	590
$FeCl_2 + 5$ г/л $RbCl$	590

Присутствие церия сильно влияет на буферную емкость электролита, в то время как остальные ионы ее мало меняют (рис. 5).

Эти факторы предопределяют изменение условий образования и поведения основных соединений железа в прикатодной области и объясняют различное влияние ионов на соосаждение металлов и дисперсной фазы.

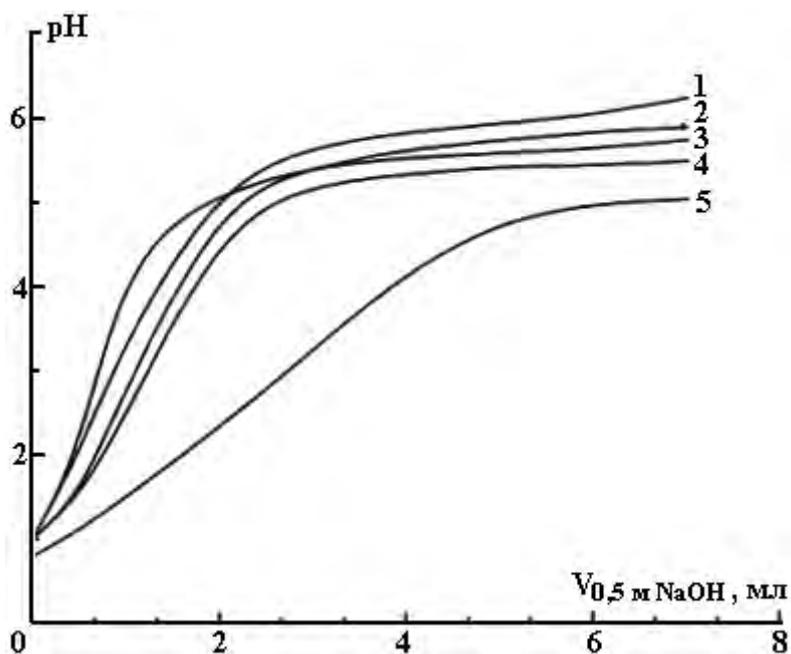


Рис. 5. Кривые потенциометрического титрования растворов хлористого железа в отсутствие (2) и в присутствии неорганических ионов: 1 –  $Cs_2SO_4$ , 3 –  $TiCH_3COO$ , 4 –  $RbCl$ , 5 –  $Ce_2SO_4$ . Концентрация добавок составляет 5 г/л

Данные по влиянию неорганических ионов на процессы в электролитах – суспензиях суммированы в табл. 6.

Таблица 6. Влияние неорганических ионов на процессы в электролитах – суспензиях

Показатель	Изменение влияния в ряду
Содержание ДФ в КЭП	$Tl^+ > Cs^+ > Fe^{2+} > Rb^+ > Ce^+$
Величина $\zeta$ – потенциала частиц дисперсной фазы в растворе	$Fe^{2+} > Cs^+ > Tl^+ > Rb^+ > Ce^+$
Емкость двойного электрического слоя железного электрода	$Cs^+ > Rb^+ > Tl^+ > Fe^{2+} > Ce^+$
Способность разрушать структуру воды	$Cs^+ > Rb^+ > Tl^+ > Ce^+ > Fe^{2+}$
Выравнивающая способность	$Cs^+ < Rb^+ < Tl^+ < Ce^+ < Fe^{2+}$
Перенапряжение водорода на железном электроде в растворе хлористого железа	$Tl^+ > Cs^+ > Ce^+ > Fe^{2+} > Rb^+$

### Обсуждение результатов

Влияние одновалентных ионов больших размеров на процесс соосаждения дисперсных неметаллических веществ при формировании КЭП наиболее эффективно, когда процесс гетероадагуляции протекает при наличии расклинивающего давления, обусловленного прослойкой электролита и граничными фазами между частицей и поверхностью катода.

Роль ионов-стимуляторов может заключаться в изменении структуры слоев воды, адсорбированных в двойном электрическом поле, и величины структурной составляющей расклинивающего давления за счет разрушения прослойки фазовых слоев, разделяющих электрод и частицу. Если различия в действии ионов на структурную составляющую расклинивающего давления незначительны, роль ионов определяется влиянием их на катодную поляризацию, на скорость электродных реакций в присутствии этих ионов и, вследствие этого, на изменения в процессах образования промежуточных продуктов электрохимических реакций и их поведении.

Ионы-стимуляторы изменяют выравнивающую способность электролитов, что также может определить их влияние на состав КЭП. Однако этот фактор менее значим в сравнении с влиянием ионов на структуру фазовых слоев и поляризацию катода.

Исследование кинетики образования КЭП позволили выделить три основные стадии процесса: 1) подвод дисперсных частиц из объема раствора к катоду; 2) фиксация дисперсных частиц на катодной поверхности; 3) гетероадагуляция и зарастание дисперсных частиц металлом.

Подвод частиц в основном реализуется за счет перемешивания. В концентрированных электролитах электрофоретический перенос не может играть существенной роли вследствие низких градиентов электрических полей и малых величин электрокинетических потенциалов.

Вероятность электрофоретического переноса частиц в диффузионной части двойного электрического слоя за счет создаваемых там высоких градиентов потенциалов не отрицается, однако она слишком мала, поскольку толщина этого слоя в условиях перемешивания соизмерима с размером обычно применяемых дисперсных частиц (1 – 10 мкм). Это может иметь место только для ультрадисперсных частиц диаметром  $10^{-2}$  –  $10^{-3}$  мкм.

На второй стадии образования КЭП заряд частиц может играть существенную роль. При положительном заряде дисперсные частицы удерживаются на катоде за счет электростатического притяжения, а также адгезионной связи с металлом и попадания их в поры и микронеровности электрода.

На третьей стадии процесса играет роль выравнивающая способность электролита, при наличии которой частица может вытесняться растущим под ней покрытием. Процесс зарастания частиц зависит от их проводимости. Включение электропроводящих частиц приводит к заметной деполяризации электрода, менее проводящие частицы практически не влияют на потенциал катода. Из основных форм движения (миграции, турбулентной диффузии, электрофореза, седиментации, броуновской диффузии) преобладающая определяется скоростью и направлением потоков электролитов-суспензий, размером и зарядом частиц, положением катода. Доставка дисперсной фазы на катод и электролит-суспензию ограничена кинетической стабильностью электролитов-суспензий и возможностью задержки дисперсной фазы у катода. Задержка определяется соотношением отрывающих сил потока и сил прижимающих частицу к катоду, электроосмотических, тяжести, электрических и др.

Гетероадагуляция дисперсной фазы характеризуется ростом адгезии за счет выдавливания среды между частицей и поверхностью КЭП. Толщина кинетически равновесной прослойки, препятствующей адгезии, определяется структурной составляющей расклинивающего давления. Контакт частицы и покрытия возможен при разрушении прослойки за счет изменения структуры молекул воды адсорбированных в двойном слое и ступенчатого роста поверхности покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфулин Р.С. Композиционные покрытия и материалы. М., 1997.
2. Левин А.И., Помосов А.И. Лабораторный практикум по теоретической электрохимии. М., 1966.
3. Антропов Л.И., Быкова М.И., Шкляная И.В. Композиционные электрохимические покрытия с включениями частиц карбида титана и нитрида бора // Защита металлов. 1974. Т.10. С. 382 – 385.
4. Методы измерения в электрохимии // Под ред. Э.И. Егера, А. М. Залкинд, 1977.
5. Овчинникова Т.М., Равдель Б.А., Тихонов К.И., Ротинян А.Л. Методы и результаты исследования кислотности в зоне реакции. Горький, 1977.
6. Kardas O., Foulka D.G. Electrode position on small-scale profiles // Adv.in Electrochem and Electrochem. End. 1962. V. 2. P. 146 – 192.
7. Фрумкин Ф.Н. Избранные труды: Перенапряжение водорода. М., 1988.
8. Духин С.С., Дерягин В.В. Электрофорез. М., 1976.
9. Физические методы анализа следов элементов / Под ред. К.П.Алимарина, М., 1967.
10. Земцова Е.П., Сайфулин Р.С., Кондратьева В.И. Роль ионов-стимуляторов при образовании композиционных электрохимических покрытий на основе серебра // Электрохимия. 1980. Т. 16. № 9. С. 1389 –1391.
11. Антропов Л.И., Быкова М.И., Шкляная И.В. О некоторых особенностях процессов электроосаждения покрытий на основе никеля // Защита металлов. 1981. Т. 17. № 4. С. 420 – 424.
12. Быкова М.И., Шкляная И.В., Забалуева Г.А., Белинский В.Н. Электроосаждение композиций никель твердая смазка в присутствии ПАВ // Теория и практика применения ПАВ при электрокристаллизации металлов. Днепропетровск, 1983. С. 136 – 138.
13. Дамаскин Б.Б. Теория адсорбции органических соединений // Успехи органических соединений. М., 1966. С. 3 – 21.

Поступила 14.08.02

## Summary

It is considered formation of the composition electro-chemical coverings from electrolyte-suspension with supplement mono-valence non-organic ions of Rubidium, Cesium, Cerium and Thallium. It is investigated the regularities of the influence of ions on the particle interaction with cathode surface, the electrochemical characteristics and the potential of dispersion phase and electrode, the structure of the double electrical layer, covering power, polarization, pH near-cathode layer, hydrogen overpotential. It is established that mechanism of the influence of non-organic ions worles on the stage of the hetero-adaugulation and healing of the dispersion phase and it is stipulated by the influence of the ions on the phase layer structure, condition of formation and behavior of the main iron combination in the near-electrode region.

---