

Д.М. ДОСПАЕВ¹, И.В. ФИГУРИНЕНЕ², Н.Ю. ЛУ³, М.М. ДОСПАЕВ³

(¹Карагандинский государственный технический университет; ²Карагандинский государственный медицинский университет; ³Химико-металлургический институт им.Ж.Абишева;

³Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева)

АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ МЕДНОГО ЭЛЕКТРОДА В ХЛОРИДНО-ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОТОКОВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Аннотация

Производительность электрохимических методов получения оксида меди(I) на постоянном токе ограничивается низкой анодной плотностью тока (1500А/м^2). Увеличение плотности тока выше указанной приводит к пассивации анода. Целью данной работы является определение механизма образования оксида меди(I) в условиях поляризации медного электрода переменным током с увеличением плотности на растворимом электроде до 10000А/м^2 .

Анодное поведение меди в растворах хлорида и гидроксида натрия исследовали методом снятия циклических поляризационных кривых. Установлено что, в растворе гидроксида натрия медь окисляется с образованием соединений $\text{Cu}(\text{OH})_2$, Cu_2O и CuO . В нейтральном растворе NaCl медь окисляется с образованием CuCl .

Результаты потенциодинамических исследований были использованы для получения оксида меди(I) переменнотокowym электролизом. Электролиз проводили с применением проволочных титановых и пластинчатых медных электродов. Методом Зейделя-Гаусса-Малышева исследовано влияние плотности тока, концентрации смеси NaCl и NaOH , температуры электролита, частоты переменного тока на выход по току оксида меди(I).

В результате исследований получена математическая модель выхода по току оксида меди(I). С использованием полученной модели процесса были построены номограммы для выхода по току оксида меди и определены оптимальные области ведения процесса.

Ключевые слова: вольтамперометрия, электролиз, оксид меди(I).

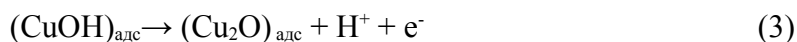
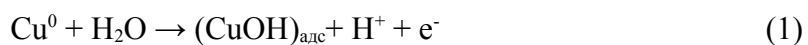
Тирек сөздер: вольтамперометр, электролиз, мыс (I) тотығы.

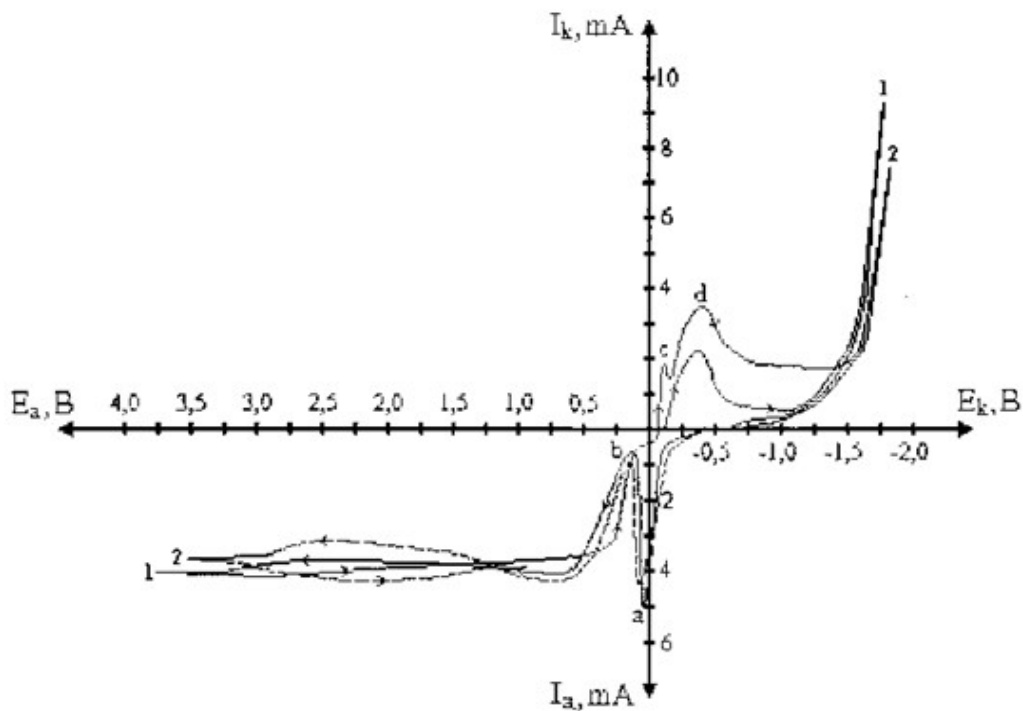
Keywords: voltamperometriya, electrolysis, copper (I) oxide.

Электрохимические методы получения оксида меди(I) базируются на анодном окислении металлической меди в щелочном хлоридсодержащем растворе при плотности тока 100-1500А/м². Основным преимуществом электрохимического метода является возможность получения осадка высокого качества с меньшим размером частиц, что исключает дополнительную стадию его обработки – доизмельчение. Однако недостаточная изученность электрохимических процессов, протекающих на электродах, механизма образования, причин возникновения пассивирующих пленок оксида меди(II), ограничивающих анодную плотность тока, сдерживают промышленное развитие электрохимического метода получения оксида меди(I). Особое значение приобретает поиск режима процесса электролиза с применением различных форм тока, отличных от постоянного [1, 2], с лучшими показателями. Например, использование переменного тока позволяет значительно упростить аппаратное обеспечение процесса и снизить энергетические затраты на его проведение. Процессы, протекающие с использованием переменного тока, сложны и требуют дальнейшего изучения.

С целью определения механизма образования оксида меди(I) при поляризации медного электрода переменным током в потенциодинамических условиях сняты циклические анодно-катодные и катодно-анодные поляризационные кривые меди в растворе хлорида и гидроксида натрия.

На анодно-катодных циклических вольтамперных кривых медного электрода в растворе хлорида натрия наблюдаются две волны (рисунок 1, максимумы а и б). Первый подъем соответствует формированию соединений одновалентной меди:



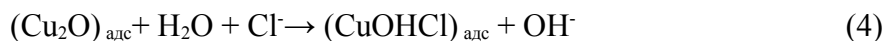


NaCl – 250 г/л; t – 20°C, V = 10 мВ/с

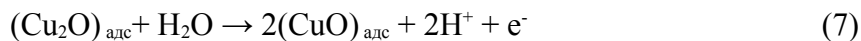
Рисунок 1 – Анодно-катодные (1) и катодно-анодные (2) циклические потенциодинамические

поляризационные кривые медного электрода в растворе хлорида натрия

При анодной поляризации оксид меди (I), как и медный электрод, частично растворяется по реакции [3]:



Вторая анодная волна указывает на протекание следующей реакции:



Катодно-анодная циклическая поляризационная кривая повторяет направление основных электродных процессов, протекающих на медном электроде.

При смещении потенциала меди в обратном катодном направлении, в области потенциалов - 0,1 - -1,15В регистрируется несколько токов восстановления в виде максимумов. В области катодного потенциала - 0,1... -0,3В наблюдается восстановление оксидов двухвалентной меди до оксида меди (I) (максимум с). При потенциалах -0,3... 0,75 В идет восстановление оксида меди (I) до металлической меди (рисунок 1, кривая 1 максимум d).

С увеличением концентрации хлорида натрия возрастает величина тока окисления меди [4], что связано с образованием одновалентной меди. Увеличение скорости анодного процесса свидетельствует о протекании электродного процесса с участием хлорид-ионов. Зависимость предельного тока анодной волны образования ионов меди (I) от концентрации NaCl имеет линейный характер. Порядок реакции определен по методике, предложенной И.Феттером [5], и составляет 0,60.

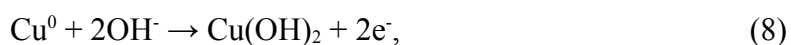
При повышении скорости развертки потенциала происходит соответствующее увеличение высоты максимума тока окисления меди в связи с тем, что потенциал электрода быстрее меняется, диффузионный слой становится меньше, градиент концентрации становится больше.

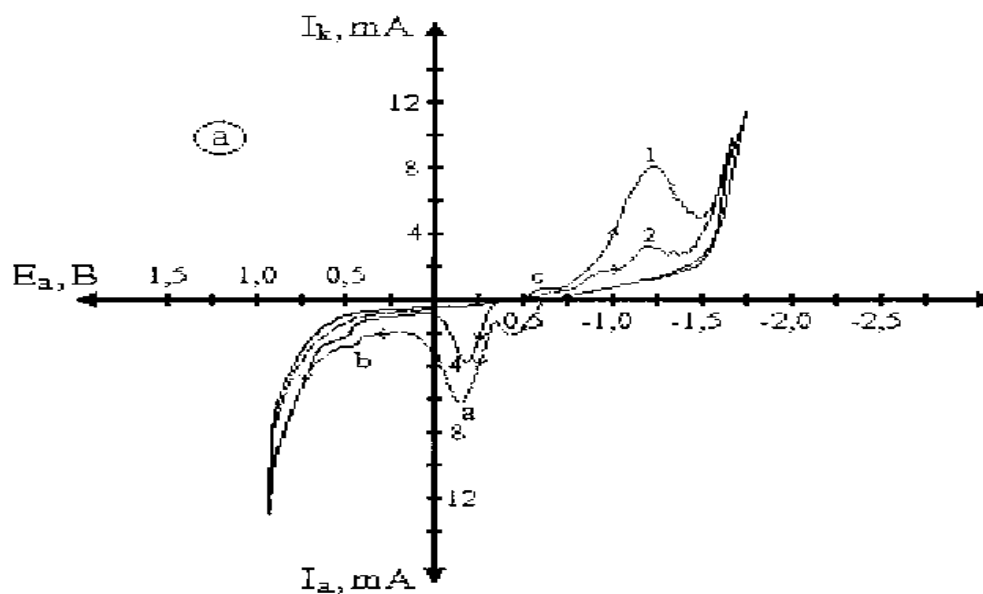
Нами исследовано анодное окисление меди в интервале температур 20-70⁰С. По методу, предложенному в работе [6], проведен температурно-кинетический анализ экспериментальных данных. На основании полученной температурной зависимости lgI от 1/T по углу наклона первого максимума тока рассчитана величина кажущейся энергии активации окисления оксида меди(I), равная 21,7кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионно-кинетическом режиме.

Закономерности электрохимического растворения медного электрода были исследованы путем снятия анодно-катодных и катодно-анодных поляризационных кривых в растворе гидроксида натрия. Ход кривых вольтамперограммы (рисунок 2) медного электрода указывает на сложный характер электродного процесса, протекающего при окислении меди в вышеуказанном растворе.

При смещении потенциала в анодную область при потенциалах -0,3...0,1В наблюдается ток образования оксида меди(I) (рисунок 2, кривая 1, максимум а), а вторую волну (максимум б) при потенциале +0,25...0,35В можно отнести к образованию оксида меди(II). Следует отметить, что в щелочной среде оксид меди(I) окисляется до оксида меди(II) [7, 8].

Из литературных данных также известно [9], что продуктами анодного окисления меди в растворах щелочей могут быть гидроксиды и купраты:





$V = 10\text{мВ/с}; \text{NaOH} - 5\text{г/л}; t = 20^\circ\text{C}$

Рисунок 2 – Анодно-катодные (1) и катодно-анодные (2) циклические потенциодинамические

поляризационные кривые медного электрода в растворе гидроксида натрия

Далее происходит выделение кислорода, при этом поверхность электрода покрывается рыхлой черной пленкой. После выделения кислорода при смещении потенциала обратно в катодном направлении в области потенциалов $+0,45 \dots +0,25\text{В}$ регистрируется аномальный анодный максимум тока (максимум с).

На катодно-анодной циклической поляризационной кривой, в катодной области потенциалов наблюдается только выделение водорода, а в обратном анодном направлении наблюдается повторение основных анодных процессов.

Анодные потенциодинамические поляризационные кривые меди, снятые при различных скоростях развертки потенциала в интервале $5-100\text{мВ/с}$ показали, что с увеличением скорости развертки потенциала высота максимума тока окисления ионов меди повышаются. Зависимость величины максимумов токов, соответствующих окислению меди от скорости развертки потенциала имеет линейный характер.

Исследован процесс анодного окисления меди в интервале температур $20-70^\circ\text{C}$. С повышением температуры раствора высота максимума тока на вольтамперной кривой увеличивается. Из зависимости $\lg I - \lg[\text{NaOH}]$ при высоких значениях концентрации определен порядок реакции окисления ионов меди, который соответствует значению $1,28$.

Зависимость $\lg I$ от $1/T$, полученная при обработке анодных поляризационных кривых меди в растворе гидроксида натрия по методу С.В.Горбачева [10], имеет линейный

характер с переломом, что предполагает зависимость изменения механизма окисления меди от температуры. Рассчитана величина кажущейся энергии активации для первого (E_1) и второго (E_2) процессов, соответственно равные 76,9 и 15,2кДж/моль, что также свидетельствует о протекании первого процесса в кинетическом режиме, второго – в диффузионно-кинетическом режиме.

Изучено образование оксида меди(I) в определенных условиях при электролизе переменным током промышленной частоты. Электролиз проводили с применением проволочных титановых и пластинчатых медных электродов. Титановый электрод был использован исходя из способности титана образовывать вентильные оксидные пленки.

Методом Зейделя-Гаусса-Малышева исследовано влияние плотности тока на титановом, медном электродах, концентрации смеси хлорида и гидроксида натрия, температуры электролита, частоты переменного тока на выход по току оксида меди(I). Были построены точечные графики частных зависимостей, которые приведены на рисунке 3.

На рисунке 3а показаны данные, характеризующие влияние плотности тока на титановом электроде на выход по току оксида меди(I). По мере увеличения плотности тока в интервале 5000-16000А/м² выход по току оксида меди(I) растет с 68,62 до 93,51% соответственно. Незначительное повышение плотности тока выше 16000А/м² приводит к резкому снижению выхода по току оксида меди(I). По-видимому, при относительно высоких плотностях тока на титановом электроде образуется более рыхлая оксидная пленка, обладающая более низкими полупроводниковыми свойствами. Общий вид подобных зависимостей предлагается в форме с фиксированным положением максимума, x_0, y_0 [11]:

$$y = y_0 (x^{e/\ln x_0} e^{-x^{1/\ln x_0}})^n, \quad (11)$$

где остается неизвестным показатель n .

При $n=1$ это уравнение приобретает некоторую каноническую форму, однако она не может быть универсальной для различного распределения экспериментальных данных – плавного с пологим максимумом при $0 < n \leq 1$ и резкого с острым максимумом при $n \gg 1$. Поэтому рекомендуется обработка экспериментальных данных x_i, y_i путем линеаризации зависимости с обозначением:

$$X_i = x_i^{e/\ln x_0} e^{-x_i^{1/\ln x_0}} \quad (12)$$

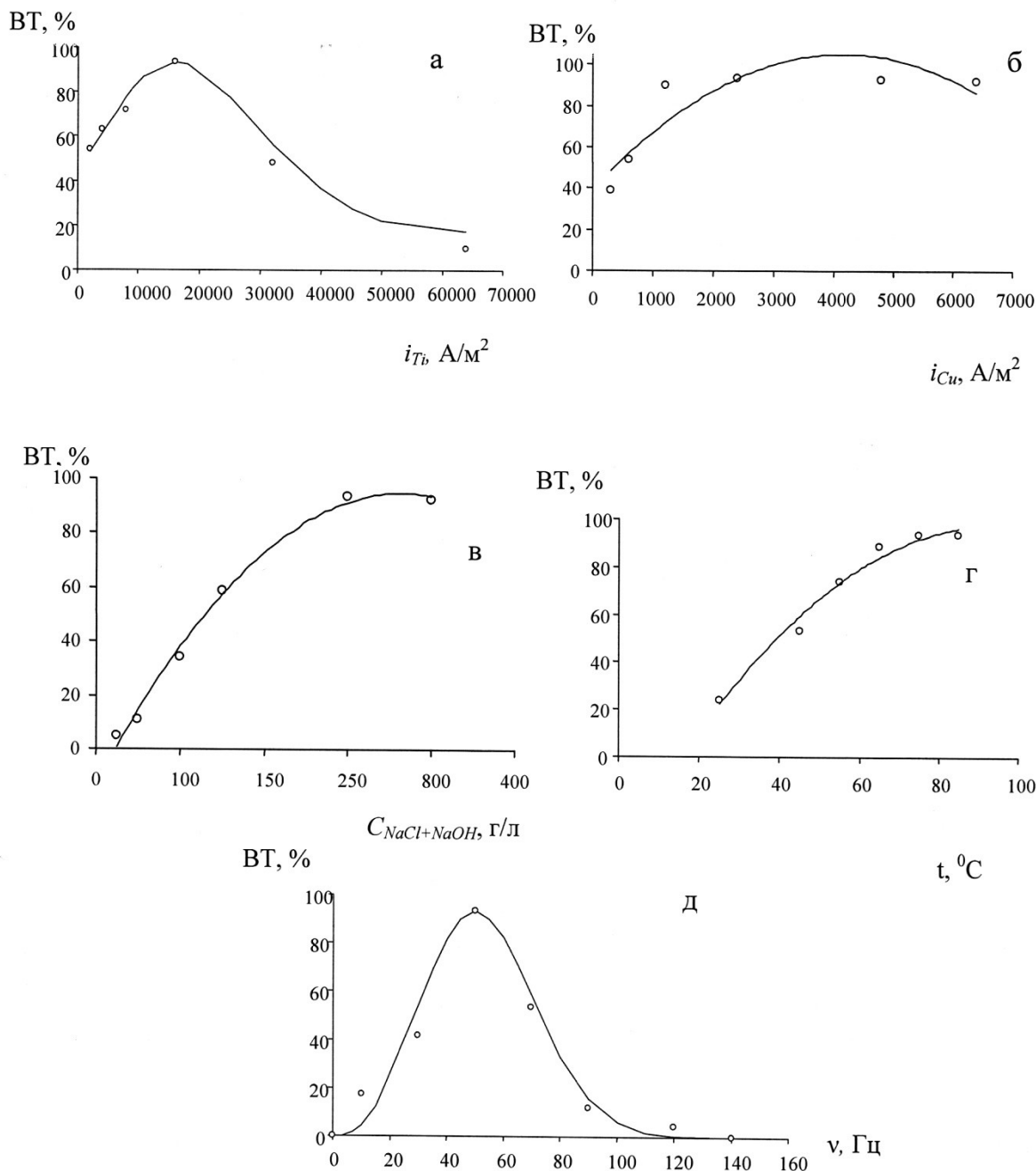
и ее логарифмированием:

$$\ln y_i = \ln y_0 + n \ln X_i, \quad (13)$$

откуда находятся значения n_i для всех точек, кроме $x=0, y=0$ и x_0, y_0 . В результате получена зависимость ВТ от i_{Ti} .

Исследовано влияние плотности тока на медном электроде на выход по току оксида меди(I) (рисунок 3, б), при этом плотность тока на титановом электроде при получении

оксида меди(I) поддерживалась на уровне 16000 A/m^2 [12-14]. Результаты проведенных исследований показывают, что в интервале плотностей тока на медном электроде $500\text{-}2400 \text{ A/m}^2$ выход по току оксида одновалентной меди повышается примерно на 60%, составляя при плотности тока 2400 A/m^2 – 93,51%. Увеличение плотности тока до 6000 A/m^2 практически не влияет на выход по току.

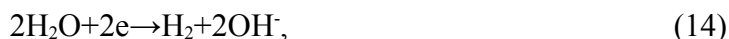


Точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (см. таблица 2);

а – влияние плотности тока на титановом электроде; б – влияние плотности тока на медном электроде; в – влияние концентрации; г – влияние температуры; д – влияние частоты переменного тока

Рисунок 3 – Зависимости выхода по току оксида меди(I) от заданных факторов

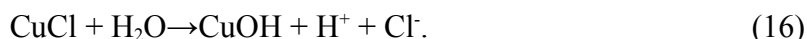
Образование оксида меди(I) при пропускании синусоидального переменного тока через медный и титановый электроды можно объяснить следующим образом. В анодном полупериоде на титановом электроде образуется оксидная пленка, препятствующая протеканию электрохимического процесса. В катодном полупериоде на титановом электроде выделяется газообразный водород:



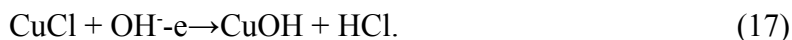
а также частично восстанавливается оксидная пленка титана. При этом медный электрод будет находиться в анодном полупериоде, т.е. происходит его растворение с образованием ионов одновалентной меди:



Возможно образование комплексов меди(I) типа CuCl_4^{3-} и CuCl_3^{2-} , в водном растворе хлорид меди гидролизуется:



Кроме того, хлорид меди(I) в объеме раствора взаимодействует с OH^- ионами, образовавшимися в катодном полупериоде на титановом электроде:



В твердой фазе CuOH неустойчив и переходит в оксид одновалентной меди:



На выход по току существенное влияние оказывает исходная концентрация раствора хлорида натрия (рисунок 3, в). Невысокий выход по току оксида меди(I) в интервале концентрации C_{NaCl} от 25 до 100г/л, по-видимому, можно объяснить одновременным образованием на поверхности электрода, наряду с оксидом меди(II) также и труднорастворимых соединений меди с хлором, которые приводят к частичной пассивации электрода. При высоких концентрациях хлорида натрия в приэлектродном слое образуются комплексы типа CuCl_3^{2-} и CuCl_2^- , поэтому пассивация медного электрода исключена. Выход по току оксида меди(I) при этом увеличивается до 93,51%. Повышение концентрации гидроксида натрия выше оптимальных значений (5г/л) приводит к некоторому снижению выхода по току. Это, вероятно, связано с тем, что при увеличении концентрации гидроксида натрия в растворе образуется избыточное количество гидроксид-ионов, возрастает устойчивость гидроксокомплексов двухвалентной меди и происходит частичное образование оксида меди(II).

Температура раствора (рисунок 3, г) смеси хлорида и гидроксида натрия существенно влияет на выход по току оксида меди(I). Так, при температурах до 40 °С скорости реакций (18) и (19) сравнительно низки, поэтому выход по току оксида меди(I) составляет лишь 49,85%. При температуре выше 75 °С выход по току достигает 93,8%. Таким образом, повышение температуры раствора хлорида и гидроксида натрия приводит к

значительному ускорению реакции перехода неустойчивых хлоридных комплексов меди в оксид меди(I).

Характер зависимости от частоты переменного тока на выход по току оксида меди(I) описывается уравнением (11). Как показали исследования, самые высокие значения выхода по току достигаются при частоте переменного тока 50 Гц (рисунок 3, д). При низкой частоте переменного тока (от 0 до 30 Гц) выход по току составляет всего лишь 17,3-41,7%. По-видимому, при низких частотах на поверхности титанового электрода образуются оксидные пленки рыхлой структуры, которые не обеспечивают вентильные свойства титанового электрода. Это обеспечение реализуется при 50Гц. При более высоких частотах (выше 50Гц) выход по току уменьшается, что связано со снижением растворимости медного электрода в анодном полупериоде. Кроме того, низкий выход по току при высоких значениях частоты объясняется образованием оксидных пленок на титане, толщина которых значительно ниже тех, которые образуются в оптимальных условиях, что также приводит к ухудшению вентильных свойств электрода.

Адекватность частных зависимостей определяли по коэффициенту корреляции R и его значимости t_R (таблица 1).

Полученные уравнения для выхода по току оксида меди(I) (таблица 1) с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов обобщаются [15] аналогично описанному, для общих по всем функциям условий (i_{Ti} , $-16000A/m^2$, i_{Cu} , $-2400A/m^2$, $C_{NaCl+NaOH} - 60г/л$, $t - 75 ^\circ C$, $\tau - 60$ мин, $\nu - 50Гц$) значение $BT_{ц} = 92,25\%$. При этом обобщенное уравнение выразится как:

$$BT = \frac{93,51(i_{Ti}^{e/\ln 16000} e^{-i_{Ti}^{1/\ln 16000}})^{-4,0 \cdot 10^{-8} i_{Ti}^2 + 0,0034 i_{Ti} + 3,148} (-4,0 \cdot 10^{-6} i_{Cu}^2 + 0,0317 i_{Cu} + 39,248)}{92,25^4 [2,9753C - 0,0204C^2 - 13,651] (-0,016t^2 + 2,9893t - 42,683) 93,51(\nu^{e/\ln 50} e^{-\nu^{1/\ln 50}})^{10+0,5\nu}]^{-1}} .$$

(19)

Таблица 1 – Коэффициент корреляции R и его значимость t_R для частных функций выхода по току оксида меди(I)

Функция выхода по току, %	R	Условие $t_R > 2$	Значимость
$BT = 93,51(i_{Ti}^{e/\ln 16000} e^{-i_{Ti}^{1/\ln 16000}})^{-4,0 \cdot 10^{-8} i_{Ti}^2 + 0,0034 i_{Ti} + 3,148}$	0,973	36,50 > 2	значима
$BT = -4,0 \cdot 10^{-6} i_{Cu}^2 + 0,0317 i_{Cu} + 39,248$	0,830	5,347 > 2	значима
$BT = -0,0204C^2 + 2,9753C - 13,651$	0,9937	9,597 > 2	значима
$BT = -0,016t^2 + 2,9893t - 42,683$	0,9815	23,46 > 2	значима
$BT = 93,51(\nu^{e/\ln 50} e^{-\nu^{1/\ln 50}})^{10+0,5\nu}$	0,972	43,08 > 2	значима

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета определили значения $R = 0,8185$ и $t_R = 13,58 > 2$, что подтверждает адекватность описания данных эксперимента. Доверительный интервал составляет $\pm 7,3\%$.

С использованием полученной модели процесса (уравнение 19) была построена номограмма для выхода по току оксида одновалентной меди (таблица 2), с помощью которой определены оптимальные области ведения процесса.

Таблица 2 – Номограмма выхода по току оксида одновалентной меди от заданных факторов

i_{Tb} , A/м ²	5000				16000				30000				50000			
$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	i_{Cu} , A/м ²	$v, \text{ Гц}$	45				60									
			40	50	60	90	40	50	60							
800			24,77	28,38	24,95	4,795	32,95	37,75	33,2							
1500			31,1	35,6	31,3	6,01	41,3	47,3	41,6							
2400			36,84	42,21	37,12	7,132	49,01	56,15	49,38							
5500			37	42,3	37,2	7,16	49,2	56,3	49,5							
800			35,5	40,7	35,8	6,88	47,3	54,2	47,6							
1500			44,6	51,1	44,9	8,63	59,3	67,9	59,7							
2400			52,9	60,6	53,3	10,2	70,3	80,6	70,9							
5500			53,04	60,77	53,44	10,27	70,57	80,85	71,1							
800			23,7	27,2	23,9	4,59	31,5	36,1	31,8							
1500			29,72	34,05	29,95	5,754	39,55	45,31	39,84							
2400			35,3	40,4	35,5	6,83	46,9	53,7	47,3							
5500			35,38	40,53	35,64	6,849	47,07	53,93	47,42							
800			8,48	9,72	8,54	1,64	11,3	12,9	11,4							
1500			10,6	12,2	10,7	2,06	14,1	16,2	14,3							
2400			12,6	14,5	12,7	2,44	16,8	19,2	16,9							
5500			12,7	14,5	12,7	2,45	16,8	19,3	17							

75	90	90	90	90	
	40	40	40	40	
	50	50	50	50	
	60	60	60	60	
	90	90	90	90	
	7,383	38,42	43,69	38,14	6,379
	9,26	48,2	54,8	47,8	8
	10,98	57,15	64,99	56,72	9,488
	11	57,3	65,2	56,9	9,52
	10,6	55,1	62,7	54,7	9,15
	13,3	69,1	78,6	68,6	11,5
	15,8	82	93,3	81,4	13,6
	15,81	82,28	93,57	81,67	13,66
	7,07	36,8	41,8	36,5	6,11
	8,86	46,11	52,43	45,77	7,655
	10,5	54,7	62,2	54,3	9,08
	10,54	54,88	62,41	54,47	9,112
	2,53	13,2	15	13,1	2,18
	3,17	16,5	18,8	16,4	2,74
	3,76	19,6	22,2	19,4	3,25
	3,77	19,6	22,3	19,5	3,26

Продолжение таблицы 2

85	t_c , °C	v , Гц	i_{Cu} , A/м ²	i_{Tb} , A/м ²			
				5000			
				16000			
				30000			
				50000			
90	40	800	7,729	40,22	45,74	39,93	
9,69	50,1	1500	50,4	57,4	59,38	50,1	
11,5	59,83	2400	60	68,3	68,04	59,38	
11,5	60	5500	57,7	65,6	68,3	59,6	
11,1	57,3	800	72,4	82,3	71,8	57,3	
13,9	71,8	1500	85,9	97,6	85,2	71,8	
16,5	85,2	2400	86,14	97,96	85,5	85,2	
16,55	85,5	5500	38,5	43,8	38,2	38,2	
7,4	38,2	800	48,27	54,89	47,91	47,91	
9,275	47,91	1500	57,3	65,1	56,8	56,8	
11	56,8	2400	57,45	65,34	57,03	57,03	
11,04	57,03	5500	13,8	15,7	13,7	13,7	
2,65	13,7	800	17,3	19,6	17,1	17,1	
3,32	17,1	1500	20,5	23,3	20,3	20,3	
3,94	20,3	2400	20,6	23,4	20,4	20,4	
3,95	20,4	5500					

Таким образом, нами впервые изучено электрохимическое поведение меди в растворе хлорида и гидроксида натрия методом снятия циклических потенциодинамических поляризационных кривых.

В нейтральном растворе NaCl (250г/л) при 0,1В медь окисляется с образованием CuCl. Повышение анодного потенциала от 0,1 до 0,8В не приводит к качественному изменению состава продуктов окисления.

Установлено, что в растворе гидроксида натрия медь окисляется с образованием одно- и двухвалентных соединений Cu(OH)₂, Cu₂O и CuO. Повышение анодного потенциала от 0,1 до 0,8 В приводит лишь к некоторому количественному изменению состава продуктов окисления.

В щелочном растворе NaCl окисление меди приводит к образованию на поверхности электрода CuCl, Cu(OH)₂, Cu₂O и CuO, причем хлорид меди(I) образуется при +0,1В, но в небольшом количестве. Следует обратить внимание на тот факт, что увеличение анодного потенциала от 0,1 до 0,8В приводит, в основном, к количественному изменению состава фазовой пленки на поверхности анода. Кроме того, в щелочном хлоридном растворе величина катодного пика, соответствующая потенциалу восстановления Cu₂O, значительно увеличивается, что свидетельствует о возрастании массовой доли оксида меди(I), образующегося при окислении медного анода.

Установлена возможность получения оксида меди(I) электролизом с использованием переменного тока промышленной частоты. Методом Зейделя-Гаусса-Малышева изучены зависимости выхода по току от плотности тока на титановом и медном электродах, концентрации электролита, температуры раствора и продолжительности электролиза. В результате исследований получена математическая модель выхода по току оксида меди(I) и построена номограмма для выхода по току оксида меди. С использованием номограммы определены оптимальные области ведения процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1 Львов А.А., Фортунатов А.В. Электрохимическое окисление меди и ее сплавов. Сообщение о механизме электрохимического образования окиси меди в горячих концентрированных растворах гидроксида натрия // Ученые записки Саратовского университета. – 1962. – Т. 75. – № 2. – С. 122-124.

2 Озеров А.М., Кривцов А.К., Хамаев В.А. Нестационарный электролиз. – Волгоград.: Нижневолжская, 1972. – 159 с.

3 Крейзер И.В., Тутукина Н.М., Зарцын И.Д., Маршаков И.К. Растворение меди при катодной поляризации в кислых хлоридных средах // Защита металлов. – 2002. – Т. 38. – № 3. – С. 261-267.

4 Черная С.С., Мецеевский Е.В. Потенциометрическое исследование комплексообразования ионов меди (I) и меди (II) в хлоридных водных растворах // Известия АН ЛитССР, сер. хим. – 1963. – № 3. – С. 336-340.

5 Феттер И. Электрохимическая кинетика. –М.: Химия. -1967. -221с.

6 Кобжанов А., Курбатов А., Романов Г. Рост слоев рыхлого медного осадка в гальваностатических условиях // Промышленность Казахстана. – 2005. – № 5(32). – С. 78-79.

7 Хоботова Э.Б., Ларин В.И., Даценко В.В. Электрохимическое растворение сплавов Fe-Cu в хлоридных щелочных растворах // Электрохимия. – 2003. – Т. 39. – № 7. – С. 850-852.

8 Бяллозор С.Г. К вопросу о влиянии хлоридных ионов на электровыделение меди на твердых электродах // Электрохимия. – 1968. – Т. 4. – № 5. – С. 581.

9 Самойлов Е.А., Шаповалов С.А. и др. Термодинамика электрохимического равновесия металлической меди и хлорсодержащего раствора // Вестник Харьковского национального университета, сер. хим. – 2001. – № 33. – С. 115-118.

10 Горбачев С.В. Влияние температуры на электролиз как кинетический метод исследования природы электрохимических процессов // Труды 4-го совещания по электрохимии. – М.: АН СССР, 1959. – С. 61-71.

11 Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. – М.: Химия, 1977. – 263 с.

12 Малышев В.П. Детерминация экстремальной зависимости при аппроксимации экспериментальных данных // Новости науки Казахстана. – 2010. – № 1. – С. 21-26.

13 Доспаев М.М. Получение оксида двухвалентной меди переменноточковым электролизом // КИМС. – 2008. – № 3 (258). – С. 73-78.

14 Доспаев М.М. Синтез оксида меди(I) с применением переменноточкового электролиза // Технология производства металлов и вторичных материалов. – 2008. – № 1(13). – С. 190-195.

15 Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН Каз ССР. – 1978. – № 4. – С. 31-38.

REFERENCES

1 L'vov A.A., Fortunatov A.V. *Uchenye zapiski Saratovskogo universiteta*. **1962**. Т. 75. № 2. S. 122-124. (in Russ.).

2 Ozerov A.M., Krivcov A.K., Hamaev V.A. *Nestacionarnyj jelektroliz*. – Volgograd.: Nizhnevolzhskaja, **1972**. 159 s. (in Russ.).

3 Krejzer I.V., Tutukina N.M., Zarcyn I.D., Marshakov I.K. *Zashhita metallov*. – **2002**. Т. 38. № 3. S. 261-267. (in Russ.).

- 4 Chernaja S.S, Meceevskij E.V. *Izvestija AN LitSSR, ser. him.* **1963**. № 3. S. 336-340. (in Russ.).
- 5 Fetter I. *Jelektrohimicheskaja kinetika.* –M.: Himija. **1967**. 221s. (in Russ.).
- 6 Kobzhanov A., Kurbatov A., Romanov G. *Promyshlennost' Kazahstana.* **2005**. № 5(32). S. 78-79. (in Russ.).
- 7 Hobotova Je.B., Larin V.I., Dacenko V.V. *Jelektrohimija.* **2003**. T. 39. № 7. S. 850-852. (in Russ.).
- 8 Bjallozor S.G. *Jelektrohimija.* **1968**. T. 4. № 5. S. 581. (in Russ.).
- 9 Samojlov E.A., Shapovalov S.A. i dr. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo universiteta, ser. him.* **2001**. № 33. S. 115-118. (in Russ.).
- 10 Gorbachev S.V. *Trudy 4-go soveshhanija po jelektrohimii.* - M.: AN SSSR, **1959**. S. 61-71. (in Russ.).
- 11 Jakimenko L.M. *Jelektrodnye materialy v prikladnoj jelektrohimii.* – M.: Himija, **1977**. – 263 s. (in Russ.).
- 12 Malyshev V.P. *Novosti nauki Kazahstana.* **2010**. № 1. S. 21-26. (in Russ.).
- 13 Dospaev M.M. *KIMS.* **2008**. № 3 (258). S. 73-78. (in Russ.).
- 14 Dospaev M.M. *Tehnologija proizvodstva metallov i vtorichnyh materialov.* **2008**. № 1(13). S. 190-195. (in Russ.).
- 15 Malyshev V.P. *Vestnik AN Kaz SSR.* **1978**. № 4. S. 31-38. (in Russ.).

Резюме

Доспаев Д.М., Физуринене И.В., Лу Н.Ю., Доспаев М.М.

(¹Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті; ² Қарағанды мемлекеттік медициналық университеті;

³ Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты; ³ Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты)

АЙНЫМАЛЫ ТОҚТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗ ЖАҒДАЙЫНДА СІЛТІЛІ-ХЛОРИДТІК
ОРТАДАҒЫ

МЫС ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ АНОДТЫҚ ЕРУІ

Натрий хлориді мен гидроксиді ерітінділеріндегі анодты мыстың іс-әрекеті циклды поляризациялық қисықтар түсіру әдісімен зерттелді. Мыстың натрий гидроксиді ерітіндісінде $\text{Cu}(\text{OH})_2$, Cu_2O және CuO қосылыстарын түзе тотығатыны анықталды. NaCl бейтарап ерітіндісінде мыс CuCl түзе тотығады.

Потенциал-динамикалық зерттеулердің нәтижелері ауыспалы токты электролиздеумен мыс (I) тотығын алуға қолданылды. Электролиздеу титанды сым және пластинкалы мыс электродтарды қолданумен жүргізілді. Ток тығыздығының, NaCl және NaOH қоспасының концентрациясының, электролит температура-сының, мыс (I) тотығының ток бойынша шығымына ауыспалы токтың жиілігінің әсері Зейдель-Гаусс-Малышев әдісімен зерттелді.

Зерттеулер нәтижесінде мыс(I) тотығының ток бойынша шығымының математикалық үлгісі алынды. Үрдістің алынған үлгісін қолдану арқылы мыс тотығының ток бойынша шығымы үшін номограммалар тұрғызылды және үрдісті жүргізудің тиімді аймақтары анықталды.

Тірек сөздер: вольтамперометр, электролиз, мыс (I) тотығы.

Summary

Dospaev D.M., Figurinene I.V., Lu N.J., Dospaev M.M.

(¹Karaganda State Technical University; ²Karaganda State Medical University; ³Chemistry and Metallurgy Institute of name Zh.Abisheva; ³Chemistry and Metallurgy Institute of name Zh.Abisheva)

ANODIC DISSOLUTION OF COPPER CHLORIDE ELECTRODE IN AN ALKALINE MEDIUM IN AC-ELECTROLYSIS

Anodic behavior of copper chloride solution and sodium hydroxide was registered with the cyclic polarization curves. Found that in a solution of sodium hydroxide is oxidized to form a copper compound $\text{Cu}(\text{OH})_2$, Cu_2O and CuO . In neutral solution NaCl copper is oxidized to form CuCl .

The results of the potentiodynamic studies were used to obtain copper oxide (I) ac-electrolysis. Electrolysis was carried out using titanium wire and the copper plate electrodes. Gauss-Seidel-Malyshev-method the effect of current density, concentration of mixture of NaCl and NaOH , the temperature of the electrolyte, the frequency of the AC output current of copper oxide (I). As a result of researches the mathematical model of the current efficiency of copper

oxide (I). With the use of the resulting process models were constructed a nomogramms for the current efficiency of copper oxide and the optimal management of the process.

Keywords: voltamperometriya, electrolysis, copper (I) oxide.

Поступила 06.11.2013 г.