

ОСОБЕННОСТИ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕДНОЙ МИКРОПОВЕРХНОСТИ В РАСТВОРЕ ГИДРОКСИДА КАЛИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 22...48 °С

Е.В. Шарлай, Б.А. Марков, А.Г. Рябухин

Потенциодинамическим методом исследовано влияние температуры на параметры электрохимического окисления медной поверхности кольцевого микроэлектрода и химическое взаимодействие анодных продуктов с компонентами щелочного электролита. Показано, что вольтамперометрия с линейной разверткой потенциала может быть использована для изучения структурно-динамических свойств растворов электролитов.

Ключевые слова: анодное окисление меди, кольцевой микроэлектрод, структурно-динамические свойства раствора.

Введение

В методе вольтамперометрии в качестве рабочих используются медные электроды различных конструкций, наиболее перспективными из которых являются микроэлектроды, характеризующиеся быстрым установлением стационарного двойного электрического слоя, малым омическим вкладом в измеряемые токи и другими преимуществами перед обычными электродами.

Поведение меди в кислых электролитах изучено широко и подробно, сведения же по анодному окислению меди в щелочных электролитах малочисленны и противоречивы. Недостаточно сведений, освещающих вопрос влияния температуры на параметры окисления меди, что и обусловило направленность данной работы. Кроме того, так как молекулы воды в двойном электрическом слое принимают непосредственное участие в процессах окисления меди, структурные преобразования водного каркаса должны повлиять на ход электрохимических зависимостей. Этот факт проверяется в данной работе сопоставлением экспериментальных данных по анодному окислению с литературными данными по известным температурным точкам конформационных переходов в структуре воды, среди которых наиболее известны следующие: максимум плотности при 4 °С; вязкость воды до 30 °С возрастает с повышением давления, минимум теплоемкости наблюдается при 35 °С, минимум отношения объемной и сдвиговой вязкостей находится при 40 °С, изотермическая сжимаемость имеет минимум при 45 °С.

Методика эксперимента

Для исследования электрохимического поведения меди в щелочи применялась трехэлектродная ячейка, описанная в [1]. Потенциал измерен относительно нормального водородного электрода (НВЭ). При снятии I , φ -кривых температура поддерживалась с помощью жидкостного циркуляционного термостата УН8 и дополнительно контролировалась термометром с точностью $\pm 0,1$ °С. Потенциодинамический режим обеспечивался потенциостатом ПИ-50-1 (погрешность регулирования потенциала $\pm 0,5$ мВ) и программатором ПР-8. Вольтамперограммы регистрировались двухкоординатным самописцем ЛКД4-003. Изучен интервал температур 22...48 °С с шагом в 1–2 °С. Деаэрирование перед опытом не производилось.

Электролит (КОН, $C_m = 4$ моль/л) готовился из реактива фирмы LACHEMA (Чехословакия) марки ч.д.а. на дистиллированной воде. Воспроизводимость данных по анодной максимальной силе тока подтверждается согласием трех I , φ -кривых для каждой температуры и скорости развертки потенциала. Интервал скоростей составлял от 0,001 до 0,1 В/с.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлен общий вид кривой, полученной в 4 М КОН на кольцевом медном микроэлектроде в интервале потенциалов от выделения кислорода до выделения водорода (путь развертки потенциала: $\varphi_{ст} \rightarrow$ анодная область \rightarrow катодная область $\rightarrow \varphi_{ст}$). Анодный пик А и катодный К примерно одинаковы по высоте с небольшим преобладанием анодного пика, что может

свидетельствовать о химическом распаде (растворении) продуктов окисления в прилегающем слое электролита.

Максимумы с увеличением скорости развертки потенциала раздвигаются по оси потенциалов дальше друг от друга (увеличивается степень необратимости процесса), максимальные токи закономерно увеличиваются, изменяется форма кривой.

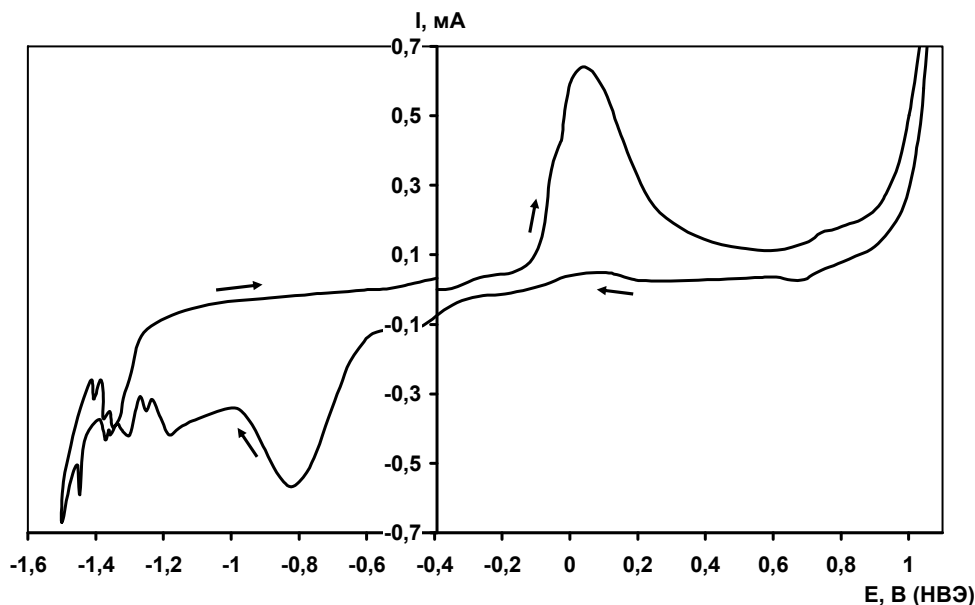


Рис. 1. Вольтамперограмма, зафиксированная на кольцевом медном электроде в 4 М КОН (20 °С, 0,05 В/с)

Область вольтамперограммы, соответствующая основному окислению меди со всеми особенностями, выделена на рис.2. Кривые при средних скоростях развертки потенциала (0,005...0,02 В/с) представляют собой три четко выраженных перекрывающихся пика. Кроме того, в области потенциалов $-0,35...-0,2$ В (НВЭ) регистрируется слабо выраженный пик (см. рис. 1), практически независимый от скорости развертки потенциала, относимый по литературным данным [2] к образованию Cu_2O по реакции:

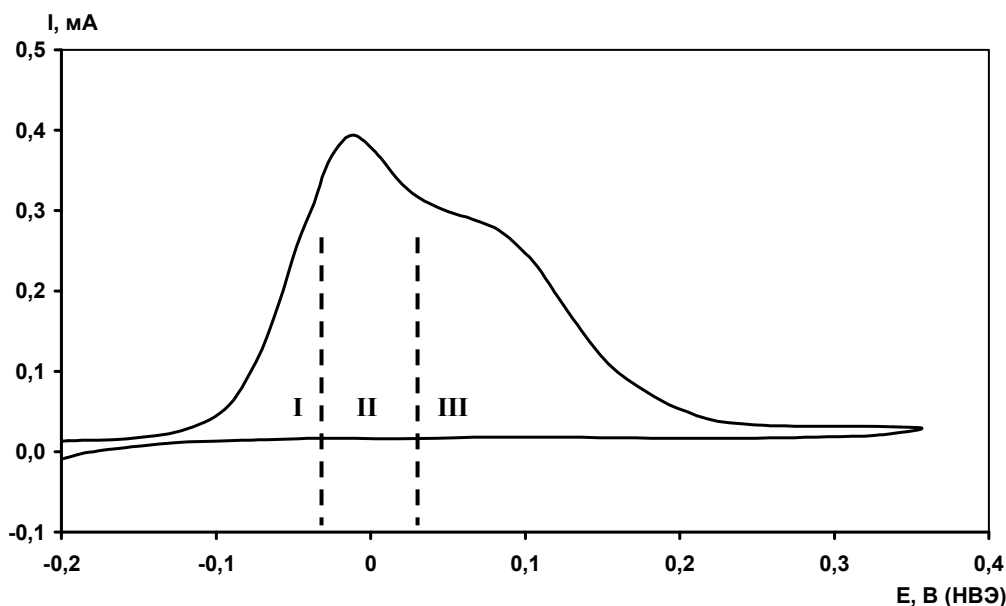
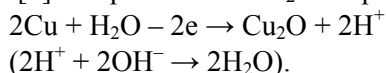
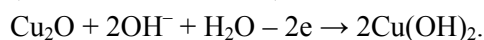
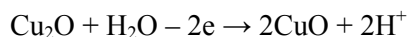


Рис. 2. Вольтамперограмма окисления меди в 4 М КОН (25 °С, 0,01 В/с)

Потенциалы двух последних пиков (области II, III) по литературным данным соответствуют процессам окисления меди до CuO (основа) и Cu(OH)₂ по реакциям [3]:



Потенциал процесса, соответствующего области III, достигается уже после начала пассивации.

Для исследования связи анодных и катодных максимумов с помощью метода циклической вольтамперометрии варьировалась глубина анодной поляризации с последующим катодным восстановлением. Результаты говорят о том что, возможно, появление плеча в области I связано с образованием особой фазы, сходной по строению и составу с фазой в области II (CuO), но отличающейся энергетически (менее стабильной, если исходить из смещения соответствующего катодного пика в более положительную область потенциалов). Не исключён вариант появления здесь «размерных эффектов»; точно на данном этапе работы сказать затруднительно. Циклическая вольтамперометрия показала, что все анодные процессы на меди в щелочной среде, кроме соответствующего анодному пику в области 0,7...0,8 В (см. рис. 1) (образование Cu₂O₃ [4]), являются необратимыми, поскольку отвечающие им катодные пики смещены более чем на 0,2 В от потенциала анодного максимума.

Определение лимитирующей стадии процесса при потенциалах вплоть до максимума тремя способами показало, что во всем использованном интервале температур 22...48 °С окисление меди проходит в диффузионно-кинетической области.

1. Аппроксимация зависимости силы тока максимума от корня квадратного из скорости развертки логарифмической функцией дала лучшие по коэффициентам корреляции результаты, чем линейная, что соответствует кинетическому (либо смешанному) контролю процесса.

2. С.В. Горбачевым показано, что разнообразные электрохимические реакции удовлетворительно выражаются уравнением, сходным по смыслу с уравнением для скорости химических реакций Аррениуса:

$$i = K \cdot \exp(-E_a/(RT)),$$

где i – плотность тока процесса; K – предэкспоненциальный множитель; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; E_a – эффективная энергия активации. Построив логарифмическую зависимость силы тока (перенапряжения) от обратной абсолютной температуры ($\ln I - 1/T$), можно судить о природе контроля процесса по расчетной величине E_a (табл. 1) (термокинетический метод).

Величина эффективной энергии активации E_a при концентрационной поляризации близка к энергии активации диффузии и энергии активации вязкости растворителя (14...18 кДж/моль), при химической поляризации E_a электрохимических реакций имеет значения, близкие к обычным значениям энергии активации реакций в растворах (80...125 кДж/моль). Таким образом, полученные значения эффективной энергии активации анодного процесса при перенапряжениях 0,32, 0,38 и 0,40 В (восходящая ветвь вольтамперограммы) также указывают на прохождение его в области смешанной кинетики, причём, с уменьшением развертки потенциала и увеличением перенапряжения вклад диффузионных ограничений увеличивается (15,2 кДж/моль при 0,4 В).

Таблица 1
Эффективная энергия активации реакции окисления меди
при перенапряжениях 0,32, 0,38 и 0,40 В (восходящая анодная ветвь)

V_p , мВ/с	E_a , кДж/моль		
	0,32 В (подъем кривой)	0,38 В	0,40 В (область максимума)
0,100	45,0	38,4	36,2
0,050	45,6	35,7	31,1
0,020	37,7	28,8	15,2

3. Для применения третьего способа определения природы поляризации были собраны данные по координатам (перенапряжение, сила тока) девяти точек, расположенных на восходящей ветви анодной кривой. Данные обрабатывались в аррениусовских координатах, после чего были получены зависимости расчётной энергии активации процесса от перенапряжения (рис. 3).

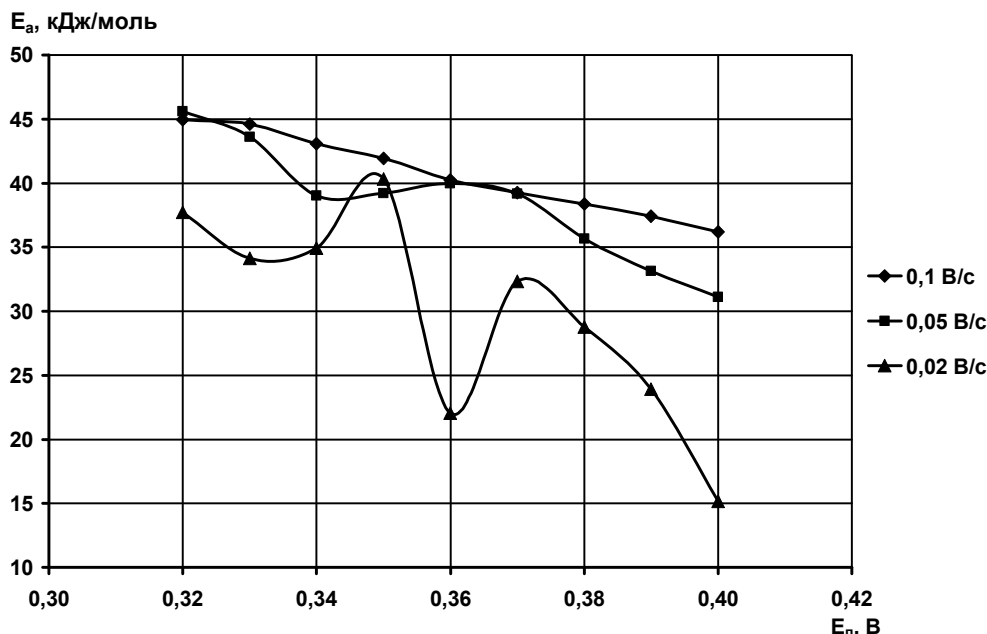


Рис. 3. Зависимость эффективной энергии активации процесса анодного окисления меди в 4 М KOH от перенапряжения

Из рис. 3 видно, что величины E_a (14...46 Дж/моль) говорят о прохождении анодного процесса для малых перенапряжений (0,32...0,39 В) в области смешанной кинетики, при перенапряжениях выше 0,39 В процесс окисления начинает контролировать в значительной степени диффузия электроактивных частиц. При этом кинетическая составляющая скорости процесса выражается в уменьшении эффективной энергии активации с ростом поляризации – параметра, связанного с энергией электрического поля.

Данная зависимость практически линейна только при максимальной применяемой скорости развертки потенциала, когда получаемые вольтамперограммы сглажены до одного анодного пика. При меньших скоростях развертки она экстремальна в области 0,34... 0,37 В, что совпадает с появлением на вольтамперограммах дополнительного пика в области I (см. рис. 2). Это может также указывать на прохождение при этих потенциалах отличного от проходящего при потенциале максимума окислительного процесса.

Механизм образования осадка (фазовый, адсорбционный), образующегося на электроде, оценивали по зависимостям потенциала максимума вольтамперограммы от корня квадратного, либо логарифма скорости развертки потенциала. Если зависимость потенциала от корня квадратного линейна – осадок имеет фазовую природу. Линейная зависимость потенциала от логарифма скорости развертки указывает на адсорбционный характер осадка. Как было установлено с учётом коэффициентов корреляции аппроксимирующих зависимостей, получающийся осадок имеет фазовую природу при температурах 22...28, 32, 38, 44, 46...48 °С, при 30, 33...37, 40...43, 45 °С образуется адсорбционный осадок.

Количество электронов, участвующих в процессе, проходящем при потенциале максимума, рассчитывалось по формуле, предложенной А.Г. Рябухиным для необратимых процессов:

$$I_m/I_\Delta = (2,9951(\alpha n_e)^{1/2}) / (1,545 - 2,01 \cdot \Delta E).$$

Здесь I_m – максимальный ток вольтамперограммы; I_Δ – ток, отстоящий на расстоянии Δ от максимального тока; ΔE – разность потенциалов максимума и потенциала Δ ; $\alpha = 0,5$ для растворов.

При этом расчёт вели по кривым, полученным при наименьшей использованной скорости развертки, ближайшей к стационарным условиям (0,001 В/с). За потенциал Δ принимали потенциал перегиба восходящей ветви вольтамперограммы окисления меди, соответствующий первому значительному максимуму дифференциальной кривой, т. е. точке перегиба вольтамперограммы. Результаты расчётов представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, при всех температурах количество электронов близко к единице, что соответствует литературным данным и учитывалось в расчётах.

Таблица 2
Количество электронов, участвующих в процессе, соответствующем максимуму кривой окисления меди ($V_p = 0,001 \text{ В/с}$)

$t, ^\circ\text{C}$	n_e
24	1,03
30	1,01
33	0,83
34	0,94
35	0,87
36	0,74
37	0,86
40	0,86
43	0,91
45	0,82

Полученные в графической форме температурные зависимости силы тока и потенциала анодного максимума вольтамперограмм имеют сложный экстремальный вид (рис. 4 и 5), воспроизводимый при всех скоростях развертки, хотя в литературе широко распространено мнение о монотонности температурной зависимости силы тока и потенциала процесса как характеристик его скорости. Соответственно представленным данным расчёт эффективной энергии активации электрохимического процесса окисления возможен только в приближенном варианте.

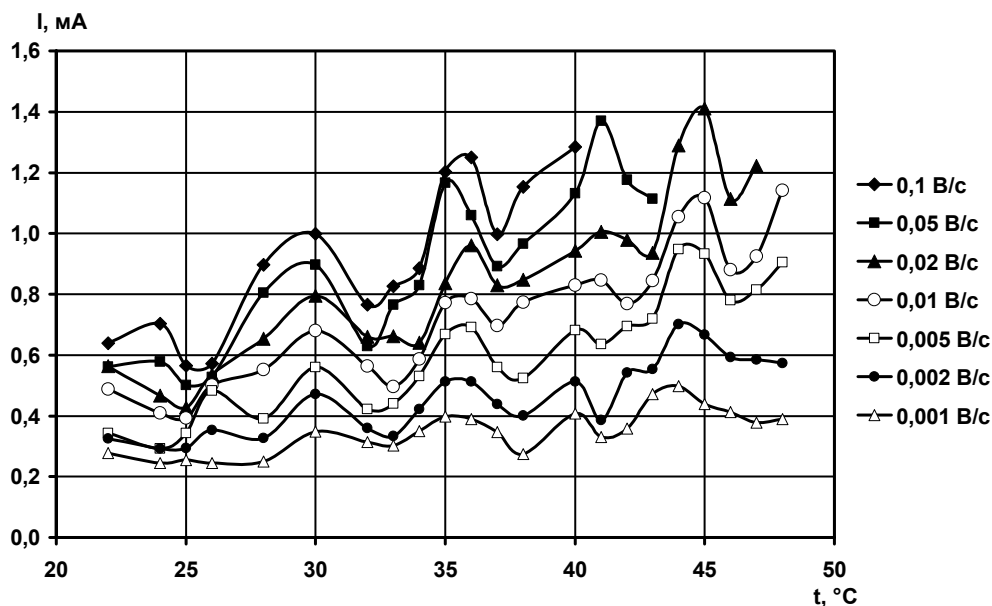


Рис. 4. Температурная зависимость силы тока анодных максимумов окисления меди в 4 М КОН при различных скоростях развертки потенциала

Сила тока процесса имеет общую тенденцию – с повышением температуры увеличиваться, а потенциал сдвигается в отрицательную область. Максимумы по силе тока располагаются при температурах: 30, 35–36, 40–41, 44–45 °C. Очевидна корреляция с вышеприведенными данными по механизму образования осадка: в этих точках анодный осадок охарактеризован как адсорбционный. Интересно то, что явно выделяется область 35–36 °C, коррелирующая со значением нормальной температуры тела человека, а интервал 30...45 °C является диапазоном возможности существования теплокровных организмов. На основании этого выдвинута гипотеза о связи экстремальных температурных точек полученных зависимостей с конформационными переходами в структуре воды и водных растворах электролита, происходящими при повышении температуры, поскольку в литературе содержатся многочисленные указания на соответствие величин обнаруженных нами экстремальных температур изменениям физических свойств воды и водных растворов.

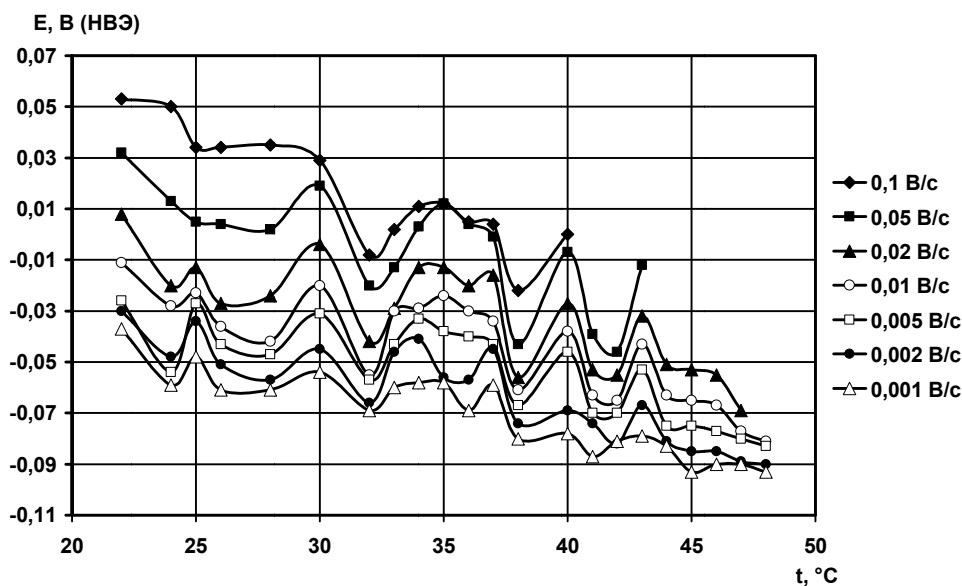


Рис. 5. Температурная зависимость потенциала анодных максимумов окисления меди в 4 М КОН при различных скоростях развертки потенциала

Предложенная гипотеза объясняет полученные данные по температурным зависимостям электрохимических характеристик окисления меди, поскольку конформационные переходы в водном каркасе электролита закономерно должны приводить к отличному строению двойного электрического слоя на границе раздела фаз электрод/электролит, изменению энергии гидратации/дегидратации участвующих в процессе ионов, а следовательно, и другим величинам параметров вольтамперных кривых.

Установлено, что полученные температурные зависимости силы тока процесса окисления аппроксимируются следующим уравнением:

$$I = At + B + A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2),$$

где $A, B, A_1, A_2, \omega_1, \omega_2, \varphi_1$ и φ_2 – эмпирические константы.

В результате подбора коэффициентов по данной формуле методом наименьших квадратов получены следующие результаты для усредненных по скоростям значений силы тока максимума (рис. 6). Кружками указаны усредненные экспериментально полученные точки. Пунктирная линия – результат аппроксимации по формуле. Уравнение описывает поведение отклика изучаемой системы медь/водный раствор гидроксида калия во всем использованном интервале температур при любой применявшейся скорости развертки.

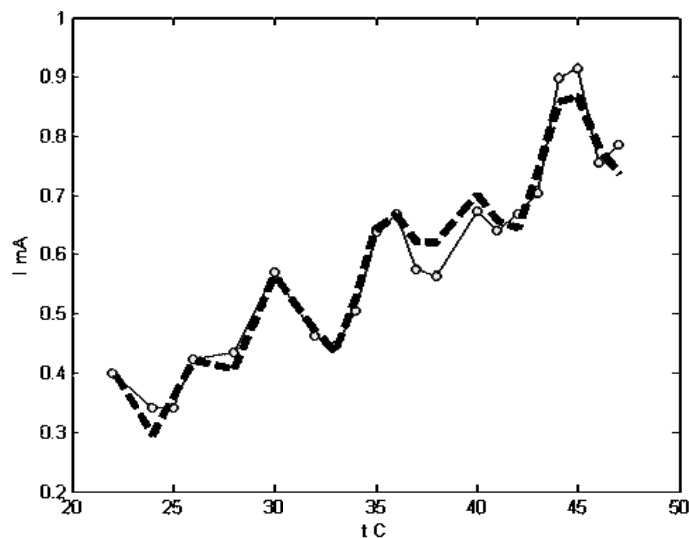


Рис. 6. Аппроксимирующая кривая для усредненных значений силы тока максимума анодного окисления меди в 4 М КОН

Физическая химия

Далее был проведен подбор коэффициентов аппроксимирующей зависимости для реальных значений силы тока максимумов, полученных при двух скоростях разверток потенциала: 0,002 и 0,02 В/с.

Результат для потенциала, возрастающего на 0,002 вольта в секунду, представлен на рис. 7 (обозначения те же, что и на рис. 6). Аппроксимирующая зависимость адекватно описывает полученные данные. Отметим, что в интервале 25...36 °С экспериментальные точки практически точно ложатся на подобранную кривую.

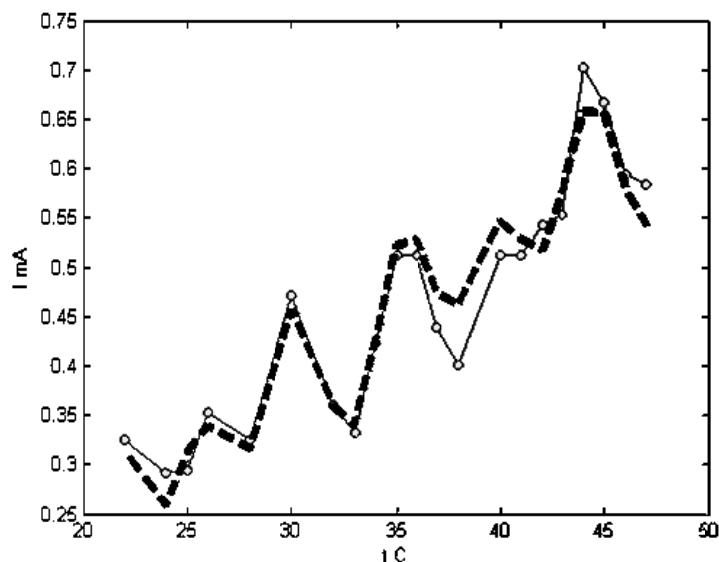


Рис. 7. Аппроксимирующая кривая для значений силы тока максимума анодного окисления меди в 4 М КОН ($V_p = 0,002$ В/с)

Совокупность коэффициентов подобранного уравнения, полученных для двух скоростей наложения потенциала и усредненных данных, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты аппроксимирующего уравнения температурной зависимости силы тока максимума анодного окисления меди

V_p	A	B	A_1	ω_1	φ_1	A_2	ω_2	φ_2
0,02 В/с	0,0315	-0,2691	1,4082	-1,4583	-0,0807	0,8291	-1,1034	-0,0642
0,002 В/с	0,0147	-0,0569	1,3308	1,9152	-0,0539	0,8845	-2,3173	-0,0358
Средн.	0,0201	-0,1197	1,3588	0,8719	-0,0614	0,8354	-0,9292	-0,0466

Таким образом, результаты моделирования показали возможность аппроксимации получаемых температурных зависимостей анодной силы тока простым выражением, представляющим собой сумму двух синусоид, которое описывает получаемые в опытах данные при различных применяемых скоростях наложения потенциала на систему.

Суммарное количество электричества, прошедшее через систему к потенциалу максимума вольтамперограммы, вычисляли графическим интегрированием соответствующего участка экспериментальной кривой. Пример зависимости суммарного количества электричества от применяемой скорости развертки представлен на рис. 8, откуда можно сделать вывод о том, что весь использованный диапазон скоростей разверток потенциала делится на два поддиапазона: 0,001...0,01 В/с, где величина количества электричества уменьшается в 5 раз с увеличением скорости, и на область 0,01...0,1 В/с, где количество электричества уменьшается в 4 раза. Зависимости с высокой точностью аппроксимируются степенными функциями (коэффициент корреляции не ниже 0,99, показатель степени колеблется в районе -0,65...-0,75).

Температурные зависимости суммарного Q симбатны описанным выше зависимостям силы тока анодного окисления меди (рис. 9).

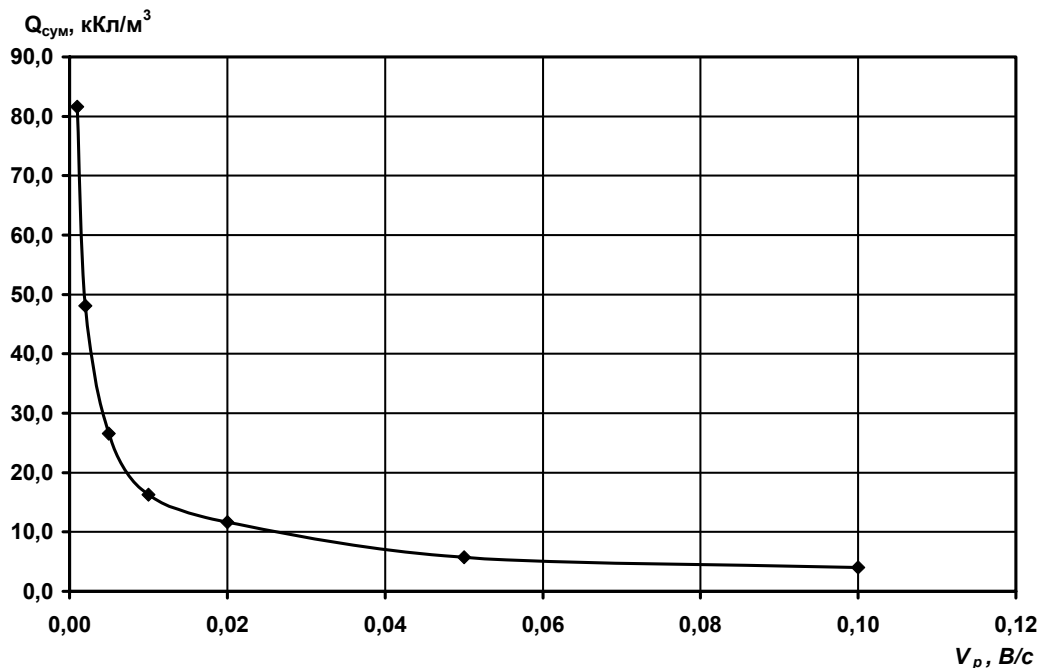


Рис. 8. Зависимость суммарного количества электричества, прошедшего через систему, от скорости развертки потенциала при 22 °С

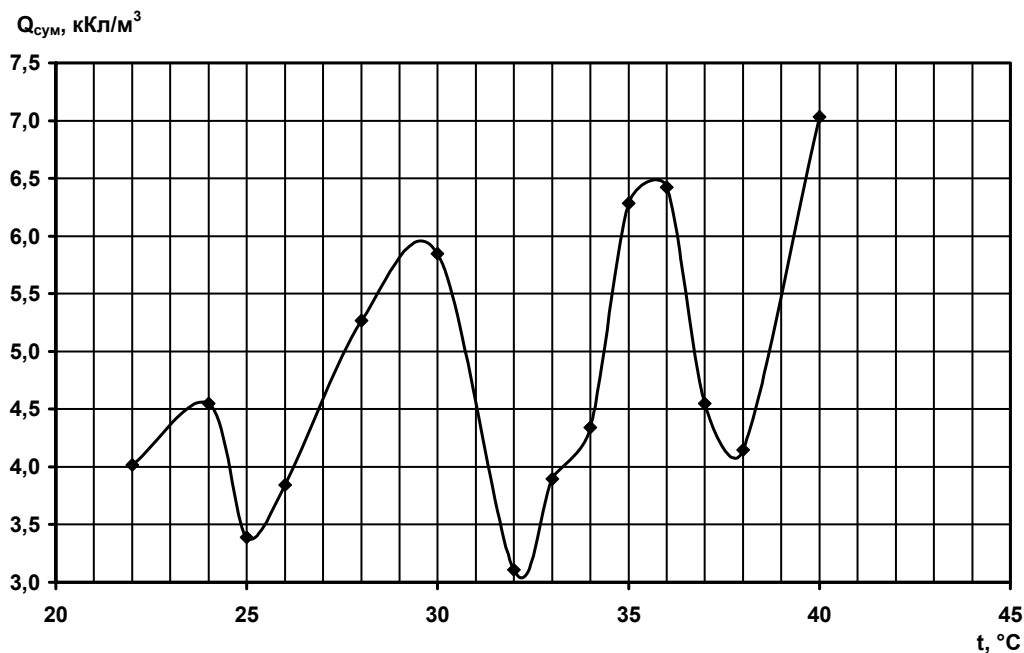


Рис. 9. Температурная зависимость суммарного количества электричества, прошедшего через систему

Фактически, приведённые факты являются доказательством того, что экстремальные температурные зависимости электрохимических параметров анодного окисления меди в щелочном электролите характерны для любой точки вольтамперограммы.

Хорошо известно, что образование пассивирующего слоя может происходить необратимо при параллельном протекании реакций ионизации металла и химического разложения пассивирующего слоя. Коллективом авторов под руководством Е.П. Гришиной (Институт химии растворов РАН) [5] разработана нелинейная модель, описывающая зависимость максимального тока от скорости развертки потенциала, которая основана на предположении об омическом контроле процессов окисления, и учитывающая химический распад первичного анодного продукта.

Физическая химия

Данная модель учитывает тот факт, что изменение сопротивления раствора в порах пассивирующей пленки в процессе образования анодных продуктов происходит благодаря изменению степени заполнения поверхности веществом плёнки. При этом считается, что толщина плёнки постоянна (двумерный рост). Изменение связано с прохождением анодной реакции и его связь с силой тока I выражается как $I = Q(d\theta/dt)$, где Q – количество электричества, необходимое для полного покрытия поверхности веществом плёнки. Однако степень заполнения поверхности изменяется не только с прохождением анодного процесса, но и в результате химического распада компонента плёнки при её взаимодействии с раствором. Поэтому выражение для силы тока переходит в следующее: $(d\theta/dt) = (I/Q - H(t,\theta))$, где $H(t,\theta) = k\theta$ (уравнение Аврами первого порядка для простейшего случая); k – константа скорости реакции разложения анодного продукта.

Данные уравнения были положены в основу выражения для зависимости тока в максимуме поляризационной кривой от скорости развертки потенциала:

$$I_m = (b V_p + a^2)^{1/2} + a,$$

где $b = (n_e F \rho \chi S^2 (1 - \theta_m)^2) / M$, $a = (H(t_m, \theta_m) Q) / 2$. Здесь n_e – количество электронов, участвующих в процессе, соответствующем максимуму вольтамперограммы (в данном случае, образование CuO); F – число Фарадея; ρ – плотность вещества пленки; χ – удельная электропроводность электролита в порах (с учетом ее температурной зависимости); S – геометрическая поверхность электрода; M – молекулярная масса вещества пленки.

Описанная модель была применена к части полученных экспериментальных данных по анодному окислению меди в растворе гидроксида калия. Для расчётов были выбраны координаты максимумов вольтамперограмм, полученных в пяти экстремальных и трёх промежуточных температурных точках (25, 28, 30, 32, 34, 35, 36, 38 °C) в диапазоне разворотов потенциала 0,01...0,1 В/с как наиболее употребляемом исследователями. Полученные результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты уравнения и расчётные характеристики нелинейной модели процесса химического распада анодных продуктов на меди в 4 М КОН при потенциале максимума и различных температурах

$T, ^\circ\text{C}$	$a, \text{A}/\text{m}^2$	$b, (\text{A}^2 \cdot \text{c}) / (\text{В} \cdot \text{м}^4)$	θ_m	k, c^{-1}	$Q_0, \text{Кл}/\text{м}^2$	$\delta, \text{м}$
25	1160,66	4,49E+07	0,990	1,1	2091,4	2,7E-07
28	1614,20	1,47E+08	0,982	0,7	4603,5	6,0E-07
30	2088,21	1,39E+08	0,983	0,8	5102,8	6,6E-07
32	1760,06	5,56E+07	0,990	1,5	2349,4	3,0E-07
34	1707,58	1,34E+08	0,984	1,0	3395,7	4,4E-07
35	2208,73	2,76E+08	0,977	0,7	6306,8	8,2E-07
36	2371,75	2,48E+08	0,978	0,8	6057,6	7,9E-07
38	2242,70	1,93E+08	0,981	2,3	1957,6	2,5E-07

В графической форме данные расчётов представлены на рис. 10–12.

Судя по графику (рис. 10), величина степени заполнения поверхности электрода анодным осадком с температурой меняется немонотонно в интервале значений 0,97...0,99, что в целом близко к единице и указывает на значительную степень пассивации поверхности электрода. При температурах 28...30 и 35 °C степень пассивации поверхности электрода минимальна, что явно соответствует увеличенному анодному току при потенциале максимума вольтамперограммы в этих температурных точках.

Температурная зависимость константы скорости химического распада CuO на границе раздела фаз при его взаимодействии с компонентами раствора щелочного электролита также носит экстремальный характер (рис. 11). При температурах 28...30 и 35 °C константа имеет минимальное значение, следовательно, в данных условиях скорость химического распада оксидов меди ниже, из чего можно сделать вывод о том, что образующаяся оксидно-гидроксидная масса не мешает дальнейшему окислению меди.

Толщина анодного осадка с увеличением температуры также меняется неравномерно. Ход зависимости на рис. 12 говорит о том, что при температурах 30 и 35 °C анодный осадок максимален по толщине, скорее всего имеет рыхлую трехмерную структуру, которая не обеспечивает эффективную пассивацию рабочей поверхности электрода, что и выражается в увеличенном анодном токе.

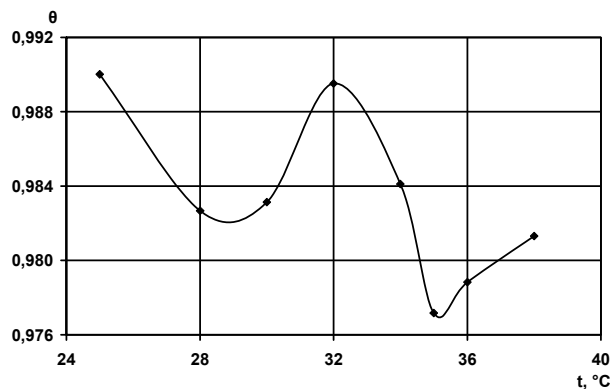


Рис. 10. Температурная зависимость величины степени заполнения поверхности электрода осадком при потенциале анодного максимума

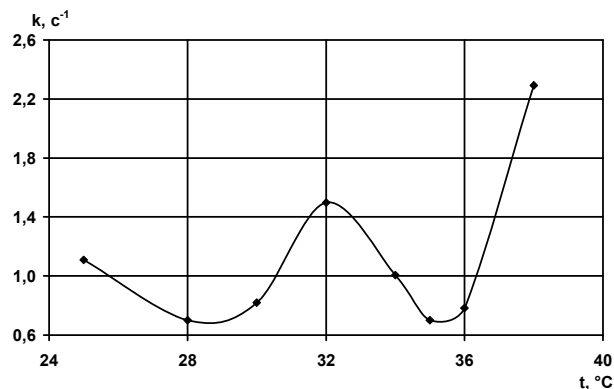


Рис. 11. Температурная зависимость константы скорости химического распада анодного осадка при потенциале анодного максимума

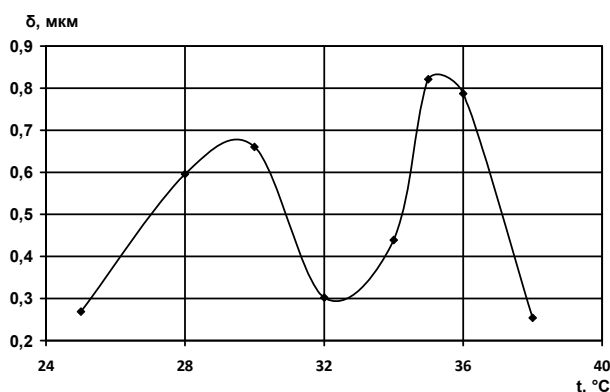


Рис. 12. Температурная зависимость толщины осадка, образующегося при потенциале анодного максимума

Полученные результаты коррелируют с данными по природе образования анодного осадка, так как было установлено, что именно при температурах 30 и 35 °С образуется адсорбционный осадок, для которого характерна развитая в значительной степени (пористая) поверхность.

Выводы

1. Исследование кинетики анодного растворения медной микроповерхности выявило диффузионно-кинетическое лимитирование процесса при потенциале токового максимума вольтамперограммы.

2. Механизм образования анодных продуктов зависит от температуры в системе.

3. Экспериментально на примере системы медь – водный раствор гидроксида калия обнаружены описанные в литературе точки смены структуры электролита (для использованного интервала температур), что говорит о реальной возможности использования электрохимических методов исследования, в частности вольтамперометрии, с линейной разверткой потенциала для изучения структурно-динамических свойств растворов.

Литература

1. Рябухин, А.Г. Вольтамперометрическое исследование электрохимических характеристик анодного процесса на кольцевом медном микроэлектроде в щелочной среде / А.Г. Рябухин, Е.В. Шарлай // Физико-химические процессы в неорганических материалах (ФХП-10): доклады Десятой междунар. конф., 10–12 окт. 2007 г.: в 2 т. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – Т. 2. – С. 159–162.

2. Оксидные пленки и электрокапиллярное поведение окисленной меди в растворах КОН / В.И. Наумов, Н.В. Салина, И.В. Китаев, Е.А. Федорова // Электрохимия. –1993.– Т. 29, № 8. – С. 1003–1007.

3. Abd El Haleem, S.M. Electrochemical behavior of copper in alkaline-sulfide solutions / S.M. Abd El Haleem, E.E. Abd El Aal // Corrosion. – 2006. – Vol. 62. – № 2. – P. 121–128.

4. Ланина, С.Я. О реакциях выделения водорода на медном катоде и анодном окислении меди в кислых и щелочных растворах / С.Я. Ланина, З.А. Иофа // Электрохимия. – 1969. – Т.5, № 3. – С. 359.

5. Носков, А.В. Кинетика анодного окисления металлов в сернокислых электролитных средах в условиях нестабильности продуктов электрохимической реакции / А.В. Носков, Е.П. Гришина // Химия растворов и технология жидкофазных материалов. Достижения и перспективы: сб. науч. тр. – Иваново, 2006. – С. 64–71.

Поступила в редакцию 4 июля 2012 г.

FEATURES OF COPPER MICROSURFACE'S ANODIC BEHAVIOUR IN POTASSIUM HYDROXIDE SOLUTION AT 22...48 °C

The temperature influence on electrochemical oxidation's parameters of the copper ring microelectrode's surface and temperature influence on chemical interaction of anodic products with alkaline electrolyte's components were investigated by potentiodynamic method. It is shown that the linear sweep voltammetry can be used for studying of structural-dynamic properties of electrolyte's solutions.

Keywords: copper anode oxidation, ring microelectrode, structural-dynamic solution properties.

Sharlay Ekaterina Valerevna – PhD (Chemistry), Associate professor, Inorganic Chemistry Subdepartment, South Ural state university. 76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080.

Шарлай Екатерина Валерьевна – кандидат химических наук, доцент, кафедра неорганической химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.
E-mail: sharlayev@rambler.ru

Markov Boris Anatolevich – PhD (Physics and Mathematics), Associate professor, Mathematical Analysis Subdepartment, South Ural state university. 76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080.

Марков Борис Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра математического анализа, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.
E-mail: smrx1969@mail.ru

Ryabukhin Aleksandr Grigorevich – Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Physical Chemistry Subdepartment, South Ural state university. 76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080.

Рябухин Александр Григорьевич – доктор химических наук, профессор, кафедра физической химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.
E-mail: ryabukhin@inbox.ru