

Контактное вытеснение меди в процессах меднения деталей из углеродистой стали

* А. А. Майзелис, Б. И. Байрачный, Г. Г. Тульский

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина, *e-mail: a.maizelis@gmail.com

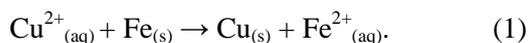
Исследован процесс контактного вытеснения меди поверхностью углеродистой стали в слабоконцентрированном серноокислом электролите и в электролитах, содержащих комплексы меди с глицином, тартратом и этилендиаминтетраацетатом. Применен метод анализа частных реакций, составляющих процесс взаимодействия поверхности стали с медьсодержащими электролитами в отсутствие тока. Параметры кинетики контактного обмена определены с помощью компьютерной обработки массивов координат частных поляризационных зависимостей катодного выделения меди в электролитах и анодного растворения стали в соответствующих фоновых растворах, а также хронопотенциограмм стальных образцов в исследуемых электролитах. Рассчитаны величины плотности тока контактного обмена и соотношение площади катодных и анодных участков поверхности в зависимости от потенциала стальной основы и времени контакта стали с электролитом. Показано влияние толщины никелевого подслоя на кинетические закономерности контактного обмена в слабоконцентрированном серноокислом электролите.

Ключевые слова: контактный обмен, меднение, глицин, этилендиаминтетраацетат, тартрат, серноокислый электролит, никелевый подслоя.

УДК 621.357.7

1. ВВЕДЕНИЕ

Меднение является одним из важнейших процессов гальванохимического производства. В зависимости от цели, с которой осаждается медное покрытие, используют различные электролиты [1, 2]. Кроме того, ионы меди содержат и электролиты для осаждения покрытий сплавами меди с различными металлами [2, 3], а также электролиты для формирования мультислойных покрытий методом одной ванны [4, 5]. Поскольку стандартный потенциал E^0 пары Fe^{2+}/Fe , равный $-0,440$ В, более отрицательный, чем стандартный потенциал пары Cu^{2+}/Cu , равный $0,337$ В, на поверхности покрываемого изделия из стали в медьсодержащих растворах возможно протекание реакции контактного обмена:



Эта реакция используется для бестокового, иммерсионного меднения [6, 7], извлечения меди из жидких отходов путем цементации скрапом [8, 9]. Однако в гальваническом процессе меднения контактный обмен может быть причиной нарушения сцепления покрытия с основой, как, например, в случае контактного вытеснения меди в виде рыхлого осадка, при образовании на поверхности твердых продуктов растворения стальной основы или ее слишком глубокой пассивации. В результате могут быть испорчены детали на стадии гальванической обработки, наблюдаться отказы дорогостоящего оборудова-

ния, включающего такие детали, в процессе его эксплуатации. Поскольку скорость реакции контактного обмена, а также характер ее продуктов зависят от свойств используемого электролита, необходимо иметь сравнительные данные о ней в различных электролитах в зависимости от времени протекания этого процесса.

Наиболее широко используемые электролиты на основе простых ионов меди, серноокислые и борфтористоводородные, из-за реакции (1) не могут быть использованы для непосредственного меднения деталей из углеродистых сплавов. Для подавления контактного обмена в электролиты вводят соединения, пассивирующие стальную основу [10], осаждают промежуточный слой никеля, используют мультислойные покрытия, обеспечивающие снижение пористости [11, 12]. Подавлению контактного вытеснения способствует уменьшение концентрации свободных ионов меди в электролите, которое может быть достигнуто, например, использованием слабоконцентрированной ванны предварительного меднения. Но более эффективно связывание ионов меди в комплексные соединения с соответствующим сдвигом равновесного потенциала меди в отрицательную сторону. Наиболее используемый электролит для непосредственного меднения стальных деталей – цианистый.

Для замены ядовитого цианидного электролита используют целый ряд других комплексных электролитов меднения [1, 2, 13], в том числе и содержащие комплексы меди с тартратом (Tart)

[14], глицином (Gly) [15] и этилендиаминтетраацетатом (EDTA), в виде динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б) [16]. Предложен ряд теоретических моделей процесса контактного обмена [17]. Однако в литературе отсутствуют количественные данные о кинетике контактного вытеснения в различных электролитах, которые необходимы для выбора состава электролита и параметров электролиза, оценки безопасного времени нахождения стальных деталей в электролитах без тока, а также прогнозирования продуктов контактного обмена.

С целью получения количественных данных о кинетике контактного вытеснения в некоторых комплексных электролитах меднения, а также о защитном эффекте никелевого подслоя в реакции контактного обмена стальной поверхности с серноокислым электролитом предварительной ванны меднения в процессе исследования решались следующие задачи:

- прогнозирование кинетических закономерностей контактного обмена на основе анализа частных поляризационных зависимостей катодного выделения меди в исследуемых электролитах и анодного растворения углеродистой стали и стали, защищенной подслоем никеля, в соответствующих фоновых растворах;

- определение параметров кинетики контактного обмена, соответствующих экспериментальному диапазону потенциалов взаимодействия стальной основы с исследуемыми электролитами в отсутствие тока.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Параметры кинетики контактного обмена в электролитах исследовали методом Донченко-Антропова [18], который усовершенствовали компьютерной обработкой результатов эксперимента [19]. Метод Донченко-Антропова основан на допущении стационарности процесса и эквипотенциальности поверхности, вследствие чего возможно описание процесса уравнениями, включающими параметры сопряженных реакций. Исходными данными для определения основных параметров кинетики контактного обмена в каждом электролите были три зависимости:

- 1) анодная поляризационная зависимость, полученная на электроде из стали Ст.3, никеля и стали Ст.3 с покрытием никелем в фоновом электролите со скоростью регистрации данных 20 сигналов в секунду;

- 2) катодная поляризационная зависимость, полученная на меди в электролите со скоростью регистрации данных 20 сигналов в секунду;

- 3) хронопотенциограмма погруженного в электролит стального (никелевого, стального с

никелевым покрытием) образца, полученная в рабочем электролите со скоростью регистрации данных 100 сигналов в секунду (в течение 50–100 секунд со времени погружения) и 2 сигнала в секунду в последующем.

Скорость реакции контактного обмена, то есть плотность тока контактного обмена j_0 , в соответствии с этим методом в каждый момент времени определяется уравнением:

$$J_0 = J_k S_k = J_a S_a, \quad (2)$$

где J_k , J_a – плотность тока катодной и анодной реакций, mA/cm^2 ; S_k , S_a – доля катодных и анодных участков поверхности, $S_k + S_a = 1$.

Долю поверхности, занятую катодными участками при каждом значении потенциала, определяли по формуле:

$$S_k = \frac{|j_a|}{|j_a| + |j_k|}. \quad (3)$$

Матрицу исходных и расчетных данных заполняли с помощью разработанной программы для Wolfram Mathematica. Она включала такие столбцы: время, потенциал, катодную и анодную плотности тока, долю площади катодных и анодных участков поверхности и плотность тока контактного обмена.

Все растворы готовили из реактивов марки «хч» и «чда» на дистиллированной воде без дополнительной обработки. Составы электролитов, которые были исследованы, приведены в таблице. Все растворы имели pH 8,5, за исключением серноокислого электролита, имеющего pH 2,8.

Измерения проводили в трехэлектродной ячейке с помощью потенциостата ПП-50.1. Рабочими электродами служили образцы из меди, стали Ст.3, никеля, а также из стали Ст. 3 с покрытием никелем, полученным в стандартном серноокислом электролите никелирования. Площадь поверхности рабочих электродов составляла 1 cm^2 . Поверхность образцов перед каждым измерением обновляли с помощью зачистки карбид-силиконовой бумагой № 500, 1000, 2000, 3000. Вспомогательные медный, никелевый и стеклоглеродный электроды в несколько раз превосходили по площади рабочие электроды. Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный. Значения потенциалов электродов приведены по отношению к этому электроду. Вольтамперограммы получали со скоростью развертки потенциала 50 мВ/с. Результаты регистрировали в электронном виде с передачей данных на персональный компьютер с помощью специально разработанного на кафедре метрологии НТУ «ХПИ» двухканального вольтметра и программы «TeleMax» со скоростью 2-100 сигналов в секунду.

Состав исследуемых электролитов (1–4 – электролиты, 1'–4' – соответствующие им фоновые растворы)

Электролит		Содержание компонентов, моль/дм ³				
		[Cu ²⁺]	[Gly ⁻]	[EDTA]	[Tart ²⁻]	[Na ₂ SO ₄]
1	сернокислый	0,05	–	–	–	–
1'		–	–	–	–	0,05
2	трилонатный	0,05	–	0,05	–	–
2'		–	–	0,05	–	0,05
3	тарtratный	0,05	–	–	0,15	–
3'		–	–	–	0,15	0,05
4	глицинатный	0,05	0,05	–	–	–
4'		–	0,05	–	–	0,05

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Исследование процесса контактного вытеснения меди поверхностью углеродистой стали и стали, защищенной слоем никеля, в сернокислом электролите

Сопряженные поляризационные зависимости катодного выделения меди на медном электроде (электролит 1 в таблице) и анодного растворения стальной поверхности в сернокислом растворе (фоновый раствор 1' в таблице) перекрываются в диапазоне потенциалов от 0,1 до -0,5 В (рис. 1, кривые 1, 1'). Контактный обмен лимитируется катодной составляющей. В этой области потенциалов медь выделяется в зависимости от значения потенциала как в виде компактного покрытия до -0,2 В, так и в интервале потенциалов от -0,2 до -0,5 В (на предельном токе) – в виде рыхлого осадка. Сталь во всей области потенциалов активно растворяется. Это предполагает не только контактный обмен во времени нахождения деталей в электролите без тока, но и растворение стали в процессе электроосаждения медного покрытия до того момента, пока медью не закроются все поры на стальной поверхности. Нарушение сцепления медного покрытия со стальной основой в этом случае неизбежно.

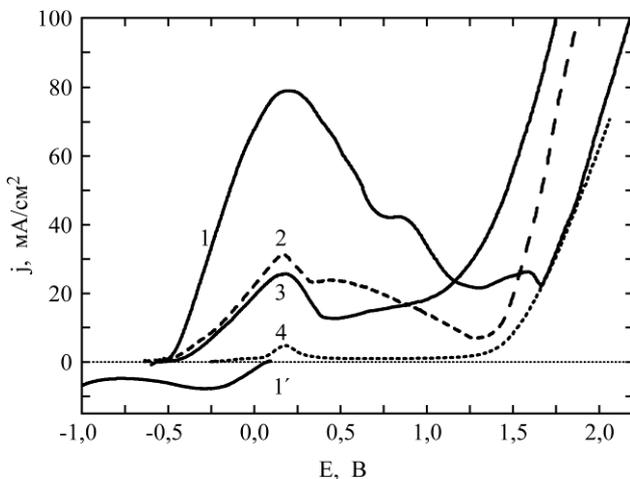


Рис. 1. Катодная поляризационная зависимость на меди (1') и анодные поляризационные зависимости на стали (1), никеле (4) и стали с покрытием никелем 1 мкм (2) и 2 мкм (3) в сернокислом электролите.

Вследствие гораздо более низкой скорости растворения никелевого анода в сернокислом растворе диапазон перекрывания сопряженных поляризационных зависимостей по сравнению со сталью сужается до интервала от 0,1 до -0,2 В (рис. 1, кривые 4, 1'). Поэтому, в отличие от стальной основы, ионы меди вытесняются поверхностью никеля в виде компактного покрытия. Контактный обмен лимитируется анодной составляющей. Анодные зависимости, полученные на стальных образцах с покрытием никелем толщиной 1 (кривая 2) и 2 мкм (кривая 3), располагаются между зависимостями, которые получены на стали (кривая 1) и никеле (кривая 4), что свидетельствует об их пористости.

Расчетные зависимости плотности тока контактного обмена J_0 от потенциала стального электрода приведены на рис. 2а. Максимальное значение плотности тока контактного обмена никелевой основы (кривая 4) с ионами меди сернокислого электролита на порядок ниже максимального значения плотности тока контактного обмена стальной основы (кривая 1). Защита стальной основы никелевым покрытием толщиной 1 (кривая 2) и 2 мкм (кривая 3) приводит к снижению максимальной величины плотности тока контактного обмена лишь в 1,5 раза по сравнению со стальными образцами без покрытия.

Рис. 2б иллюстрирует изменение доли поверхности электрода, которая теоретически может быть занята медью при каждом значении потенциала. Оставшаяся поверхность подвергается растворению. Интервал потенциалов, в котором основная часть поверхности покрывается медью, растет при переходе от стали к никелю.

Потенциал стального образца, погруженного в сернокислый электролит, уже в течение первых секунд изменяется от 0 до -0,46 В (рис. 3а, кривая 4). Это отвечает (см. рис. 1, кривая 1') быстрому осаждению тонкого слоя компактной меди с последующим наращиванием рыхлого осадка на предельном токе выделения меди.

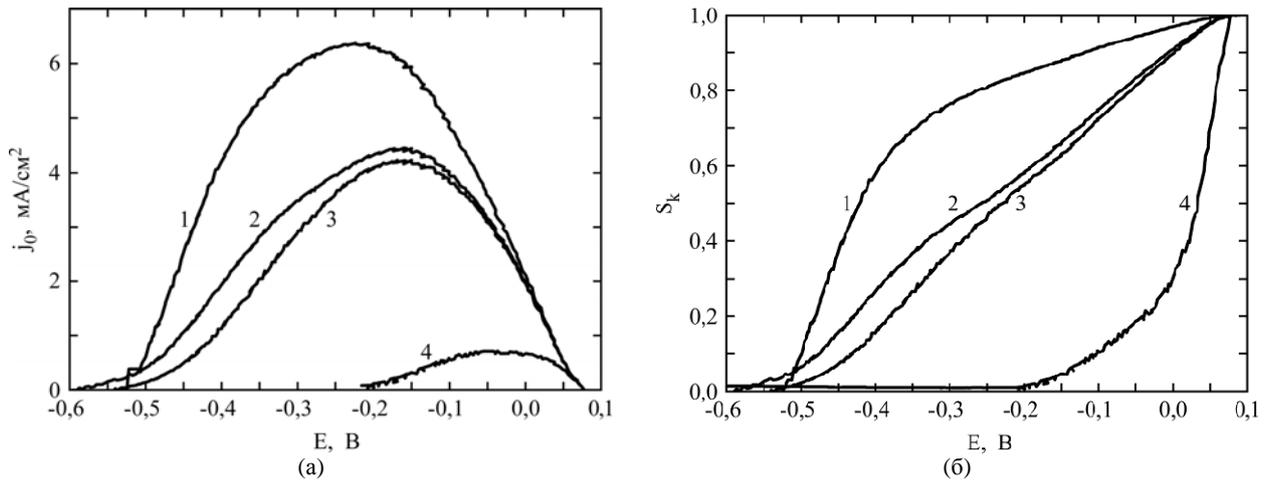


Рис. 2. Зависимости плотности тока контактного обмена J_0 (а) и доли площади поверхности, занятой медью S_k (б), от потенциала E в серноокислом электролите на электродах: 1 – сталь; 2 и 3 – сталь с покрытием никелем 1 и 2 мкм соответственно; 4 – никель.

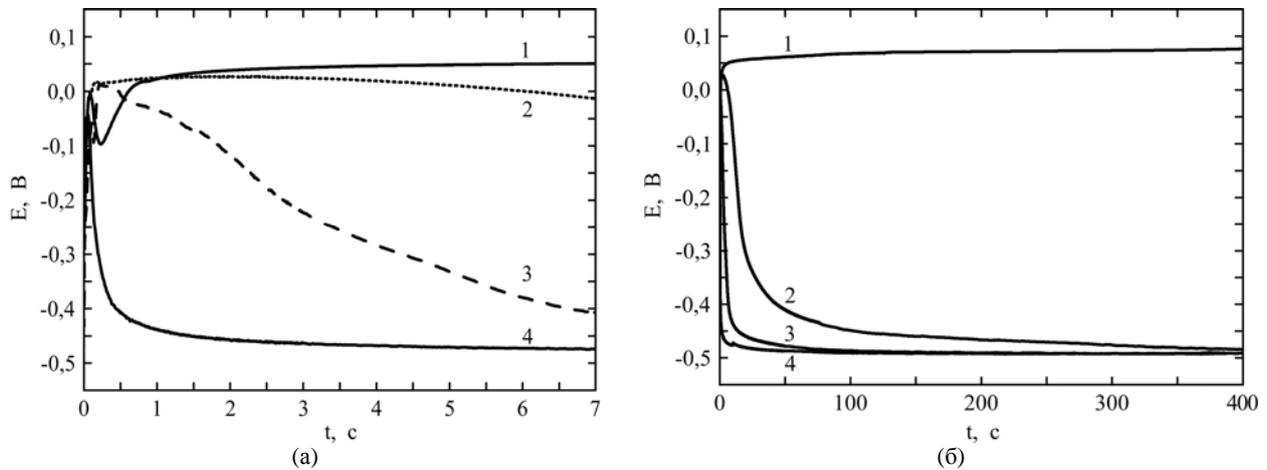


Рис. 3. Изменение потенциала E образцов, погруженных в серноокислый электролит, во времени t : (а) – в начальный период, (б) – в течение более длительного времени. 1 – никель; 2 и 3 – сталь с покрытием никелем 2 и 1 мкм соответственно; 4 – сталь.

В отличие от стальной поверхности, потенциал никелевого электрода, погруженного в серноокислый электролит, сначала приобретает более низкие значения, что, по-видимому, связано с восстановлением оксидной пленки на поверхности никеля, затем наблюдается рост потенциала (рис. 3а, кривая 1). Потенциал изменяется в диапазоне, который отвечает медленному осаждению компактного медного покрытия (рис. 1, кривая 1'), что позволяет надеяться на отсутствие нарушения сцепления с основой медного покрытия, которое будет наноситься на никелевую поверхность.

Увеличение толщины никелевого покрытия на стальном образце (рис. 3а, кривые 2 и 3) расширяет диапазон времени получения компактного медного покрытия на поверхности стального образца, однако через несколько минут (рис. 3б) потенциалы всех стальных образцов становятся равными и отвечают области потенциалов активного растворения стали (см. рис. 1, кривые 1–3).

Плотность тока контактного обмена достигает своего максимума на стальной поверхности в первую же секунду после погружения образца в сульфатный электролит (рис. 4а, кривая 3). Никелевое покрытие толщиной 1 мкм отодвигает этот момент на 2 секунды (кривая 1), а покрытие толщиной 2 мкм – на 12 секунд (кривая 2). Максимальное значение плотности тока контактного обмена на никелевой поверхности на порядок ниже, чем на стальной (кривая 4). Скорость контактного обмена на поверхности стали с никелевым покрытием толщиной 2 мкм в первые 3 секунды приближается к скорости на поверхности никеля. Установившиеся значения скорости контактного обмена (рис. 4б) на стали с покрытием занимают промежуточное положение между полученными на стали и никеле.

Поверхность стального образца, которая в первую секунду почти полностью покрывается медью (рис. 5а, кривая 3), начинает быстро растворяться сквозь поры медного слоя, нарушая сцепление с ним, и уже через 2 минуты часть площади поверхности, которая занята рыхлым

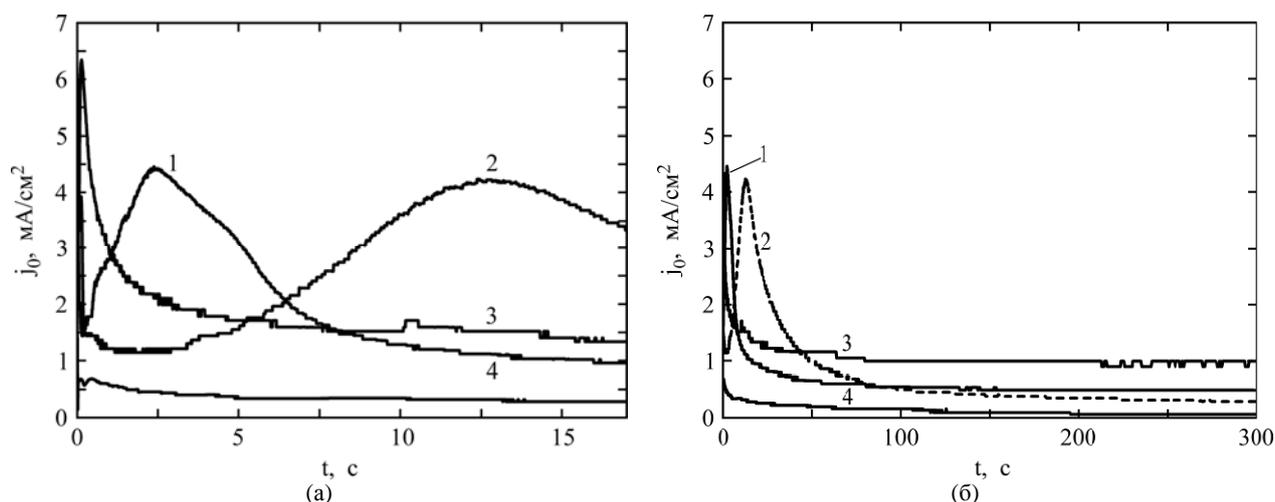


Рис. 4. Изменение плотности тока контактного обмена J_0 на поверхности погруженных в сернокислый электролит образцов во времени t : (а) – в начальный период; (б) – в течение более длительного времени. 1 и 2 – сталь с покрытием никелем 2 и 1 мкм соответственно; 3 – сталь; 4 – никель.

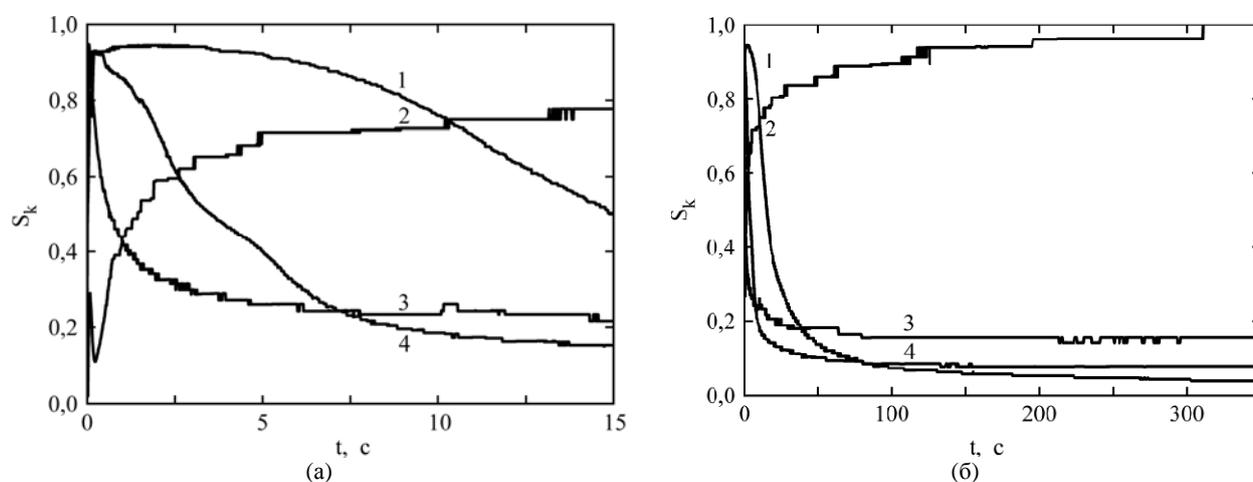


Рис. 5. Изменение доли площади поверхности, занятой медью S_k , на погруженных в сернокислый электролит образцах во времени t : (а) – в начальный период; (б) – в течение более длительного времени. 1 – сталь с покрытием никелем 2 мкм; 2 – никель; 3 – сталь; 4 – сталь с покрытием никелем 1 мкм.

осадком меди, стабилизируется на уровне лишь 0,16 (рис. 5б, кривая 3). В случае наличия на стальной основе никелевого покрытия (рис. 5а, кривые 1 и 4) время развития поверхности в порах отодвигается. В большей степени снижается доля поверхности, занятой со временем медью (рис. 5б, кривые 1 и 4), благодаря меньшей плотности анодного тока по сравнению со сталью (в соответствии с (2), см. рис. 1). Поверхность никеля постепенно покрывается слоем меди (рис. 5, кривая 2), однако, во-первых, слоем компактной меди, а, во-вторых, скорость контактного обмена через несколько минут снижается почти до нуля (см. рис. 4б). Это и обуславливает существенное снижение вероятности нарушения сцепления медного слоя с поверхностью никеля.

3.2. Исследование контактного обмена в электролитах, содержащих комплексы меди с органическими лигандами

Выделение меди из слабощелочных электролитов, содержащих ее комплексы с органическими лигандами, например из этилендиамин-

тетраацетатного или трилонатного (электролит 2 и фоновый раствор 2', см. таблицу), тартратного (электролит 3 и фоновый раствор 3') и глицинатного (электролит 4 и фоновый раствор 4'), осуществляется с большей поляризацией, чем из сернокислого электролита (рис. 6, сравните кривые 1'–3' и кривую 4'). Однако и начало анодных поляризационных зависимостей в этих растворах смещается в сторону отрицательных значений потенциала (кривые 1–3), а в трилонатном электролите (кривая 1) скорость растворения стали еще и превышает предельную скорость ее растворения в сернокислом (кривая 4). Это не позволяет сделать однозначный вывод об интенсивности контактного обмена в среде исследуемых комплексных электролитов.

Максимальное значение рассчитанной плотности тока контактного обмена имеет меньшую величину в глицинатном электролите (рис. 7а, кривая 2) и наибольшую – в тартратном (кривая 3). Действие реакции контактного обмена осуществляется в самом широком интервале

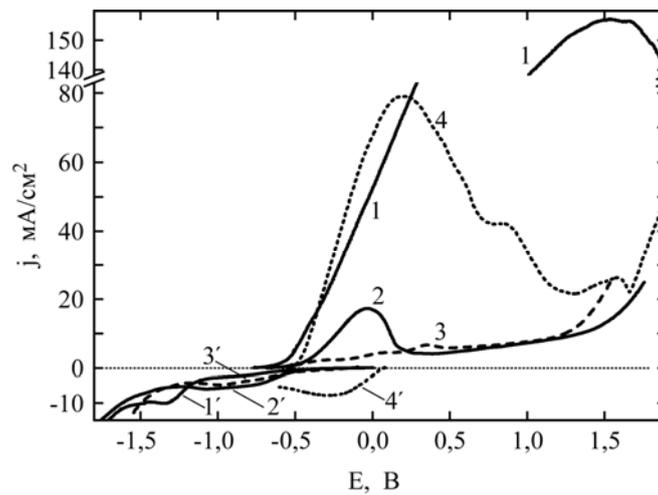


Рис. 6. Катодные поляризационные зависимости на меди ($1'-4'$) и анодные поляризационные зависимости ($1-4$) на стали в электролитах: $1, 1'$ – трилонатный; $2, 2'$ – тартратный; $3, 3'$ – глицинатный; $4, 4'$ – сернокислый.

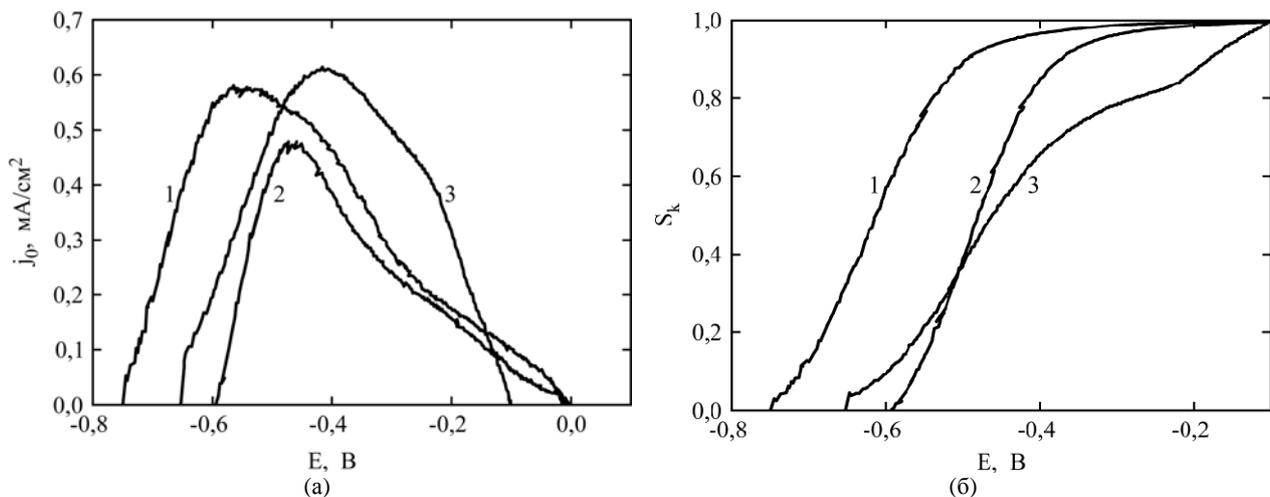


Рис. 7. Плотность тока контактного обмена J_0 (а) и доля площади поверхности, занятой медью S_k (б), в зависимости от потенциала стального электрода E в электролитах: 1 – трилонатный; 2 – глицинатный; 3 – тартратный.

потенциалов в трилонатном электролите (кривая 1). В области потенциалов положительнее $-0,3$ В в процессе взаимодействия стальной поверхности с электролитами существенно увеличивается вклад коррозии стали с кислородной деполаризацией. Поэтому в этой области потенциалов растет доля площади поверхности, занятой катодными участками (рис. 7б), на которых восстанавливается кислород.

Если экспериментально определенный потенциал погруженного в глицинатный электролит стального образца свидетельствует хотя бы о кратковременном (рис. 8а, кривая 2) осаждении слоя компактной меди, то в тартратном электролите он с первой секунды находится в области действия коррозионного процесса (кривая 1). Потенциал стального образца, погруженного в трилонатный электролит, в течение всего времени (рис. 8б, кривая 3) отвечает области потенциалов осаждения компактной меди.

Скорость контактного обмена наиболее высокая в трилонатном электролите (рис. 9, кривая 1). Скорость взаимодействия поверхности стального

образца в глицинатном электролите в первую минуту наименьшая из исследуемых (рис. 9а, кривая 3), но впоследствии, через несколько минут (рис. 9б, кривые 2 и 3), она сближается со скоростью взаимодействия в тартратном электролите, что, по-видимому, свидетельствует о преобладающей доле коррозионного процесса, который определяется в основном одинаковым значением рН этих электролитов.

Поверхность стальных образцов в первые секунды после погружения во всех электролитах занята в основном катодными участками (рис. 10а). В глицинатном электролите эта доля составляет 98%. Но если в тартратном и глицинатном электролитах на этих участках не происходит выделение меди, то есть отсутствует собственно контактный обмен, то в трилонатном электролите катодная составляющая представлена процессом осаждения меди, а доля поверхности, на которой он протекает, со временем снижается (рис. 10б) за счет гораздо более высокой активности анодной составляющей (см. рис. 6, кривая 1).

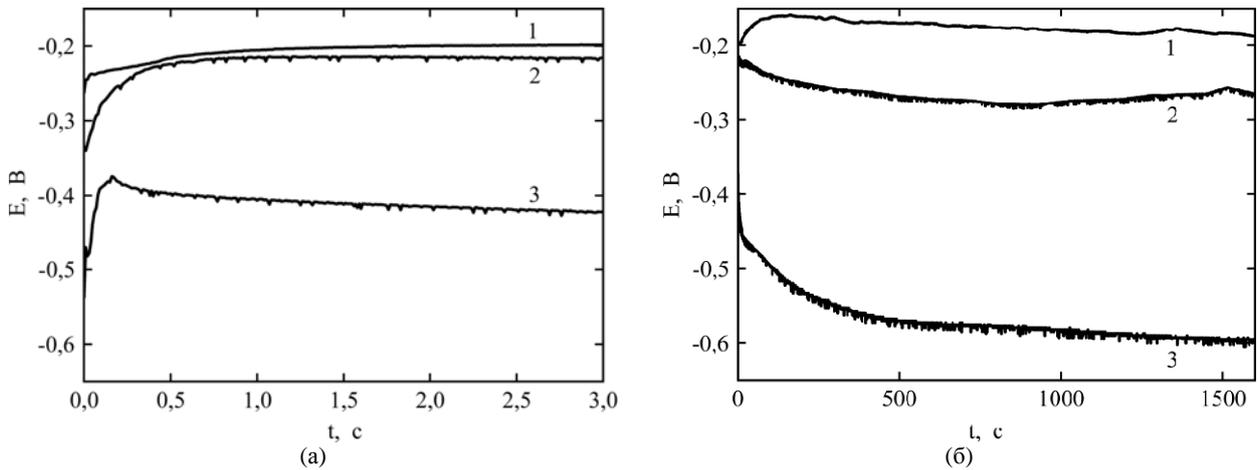


Рис. 8. Изменение во времени t потенциала E стальных образцов в электролитах: 1 – тартратный; 2 – глицинатный; 3 – трилонатный.

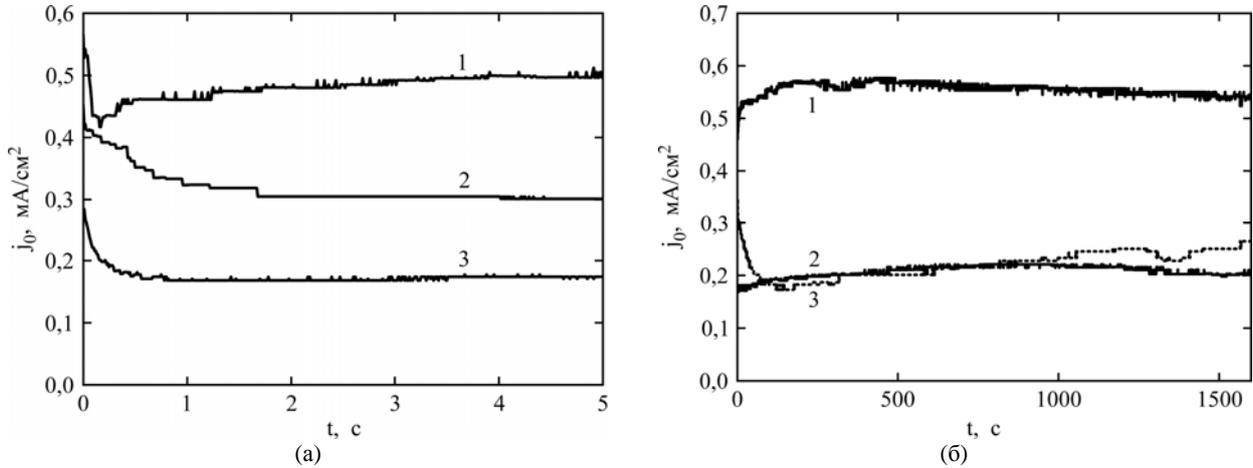


Рис. 9. Изменение во времени t плотности тока контактного обмена J_0 на стальной поверхности в электролитах: 1 – трилонатный; 2 – тартратный; 3 – глицинатный.

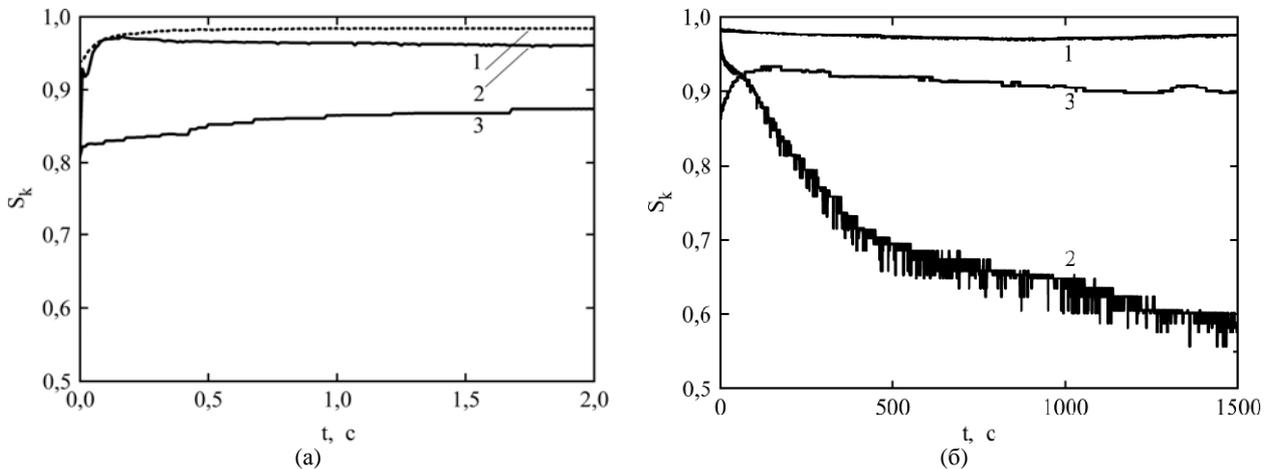


Рис. 10. Изменение во времени t доли площади поверхности, занятой медью S_k , в электролитах: 1 – глицинатный; 2 – трилонатный; 3 – тартратный.

ВЫВОДЫ

Результаты расчета кинетических параметров процесса контактного обмена стальной поверхности с ионами меди в сернокислом электролите иллюстрируют эффективность защиты стальной поверхности никелевым слоем, с увеличением толщины которого отдалаются время перехода от осаждения компактного слоя меди к осажде-

нию рыхлого ее осадка на предельном токе (см. рис. 3а), время достижения максимального значения плотности тока контактного обмена (рис. 4а), время развития площади поверхности, занятой растворяющимися анодными участками (рис. 5а). Таким образом, с увеличением толщины слоя никеля растет время возможного нахождения деталей в ванне с сернокислым электролитом меднения. Однако стальные детали с нике-

левым слоем толщиной, еще не обеспечивающей его беспористость, не могут находиться в сернокислом электролите меднения в течение длительного времени.

В электролите, содержащем трилонатные комплексы меди, величина установившейся плотности тока контактного обмена вдвое ниже, чем в сернокислом электролите, при меньшей на порядок величине максимальной плотности тока контактного обмена и компактности медного осадка. В растворах, содержащих глицинатные и тартратные комплексы меди, контактного обмена не происходит, однако протекают коррозионные процессы, в результате чего на поверхности стальных деталей при длительной выдержке их в электролите без тока возможно накопление продуктов взаимодействия электролита с основой, которые могут быть причиной нарушения сцепления наносимого медного слоя со стальной основой.

ЛИТЕРАТУРА

- Dini J.W. and Snyder D.D. Electrodeposition of Copper. 1. Dini J.W. and Snyder D.D. *Electrodeposition of Copper. Modern Electroplating*. Schlesinger M. and Paunovic M. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. P. 33–78.
- Ажогин Ф.Ф., Беленький М.А., Галь И.Е. и др. *Гальванотехника. Справочник*. М.: Металлургия, 1987. 736 с.
- Бондарь В.В., Гринина В.В., Павлов В.Н. *Итоги науки и техники. Серия Электрохимия*. М.: ВИНТИ, 1980, **16**, 331 с.
- Bakonyi I., Peter L. *Prog Mater Sci*. 2010, **55**, 107–245.
- Maizelis A.A., Bairachniy B.I., Trubnikova L.V., Savitsky B.A. *Functional Materials*. 2012, **19**(2), 238–244.
- Tatarnikov P.A., Kharlamov V.I. *Steel Transl*. 2011, **41**(12), 1029–1032.
- Srinivasan K.N., Shamugam N.V., Selvam M. and John S. *J Electrochem*. 1988, **4**(4), 315–317.
- Lopez F.A., Martin M.I., Perez C., Lopez-Delgado A. et al. *Water Res*. 2003, **37**, 3883–3890.
- Grigorenko D.O., Byk M.V. *Austrian J of Technical and Natural Sciences*. 2015, (3–4), 64–66.
- Donchenko M.I. *Prot Met*. 1986, **22**(3), 375–378.
- Майзелис А.А., Байрачный Б.И., Трубникова Л.В. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012, **56**(2–5), 4–6.
- Майзелис А.А., Байрачный Б.И., Трубникова Л.В., Иващенко В.Н. и др. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012, **58**(4–5), 21–24.
- Майзелис А.А., Байрачный Б.И., Трубникова Л.В. *Вопросы химии и химической технологии*. 2011, (4(2)), 42–44.
- Leopold S., Herranen M. and Carlsson J.-O. *J Electrochem Soc*. 2001, **148**(98), 513–517.
- Kublanovsky V., Litovchenko K. *J Electroanal Chem*. 2000, **495**, 10–18.
- Bettelheim A., Raveh A., Mar U., Ydgar R. et al. *J Electrochem Soc*. 1990, **137**(10), 3151–3153.
- Darintseva A.B., Murashova I.B., Artamonov V.P. and Artamonov V.V. *Russ J Electrochem*. 2007, **43**(2), 229–233.
- Донченко М.И., Антропов Л.И. О контактном выделении металлов. *Журнал прикладной химии*. 1972, **45**(2), 291–296.
- Maizelis A.A., Tul'skii G.G., Bairachnyi V.B. and Trubnikova L.V. *Russ J Electrochem*. 2017, **53**(4), 417–423.

Поступила 03.06.16

После доработки 14.11.16

Summary

The process of copper contact displacement by the carbon steel surface in a weak low-concentrated sulfate electrolyte and in electrolytes containing copper complexes with glycine, tartrate and ethylenediaminetetraacetate was studied. A method of analyzing the particular reactions of interaction of steel surface and copper-containing electrolytes in the absence of current was used. The parameters of contact exchange kinetics were determined by computer processing of arrays of coordinates of particular polarization dependencies of cathodic copper deposition in electrolytes and anodic dissolution of steel in corresponding background solutions, as well as of chronopotentiograms of steel samples in the electrolytes under study. The values of the contact exchange current density and the ratio of the area of the cathode and anodic surface sections were calculated as a function of the steel substrate potential and the time of the contact of steel and the electrolyte. The influence of the nickel sublayer thickness on kinetic laws of contact exchange in a low-concentrated sulfate electrolyte is shown.

Keywords: contact exchange, copper deposition, glycine, ethylenediaminetetraacetate, tartrate, sulfate electrolyte, nickel sublayer.