

Т. А. НЕНАСТИНА, М. В. ВЕДЬ, Н. Д. САХНЕНКО, В. О. ПРОСКУРИНА, И. Ю. ЕРМОЛЕНКО

ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНОЛА НА ТЕРНАРНЫХ СПЛАВАХ КОБАЛЬТА

Электролитические покрытия тернарными сплавами Co-Mo-W и Co-Mo-Zr, нанесенные из комплексных пиррофосфатно-цитратных электролитов, отличаются равномерно развитой поверхностью, рельеф и степень развития которой благоприятны для реализации каталитических процессов. Электрокаталитическое окисление метанола, как энергоемкого реагента топливных элементов, на электродах их указанных сплавов характеризуется наличием одной волны с четко выраженным предельным током. Активность электродов с тернарными покрытиями в реакции окисления метанола значительно выше, чем платины, причем для сплава Co-Mo-Zr высота пика в 2–2.5 раза выше, чем для Co-Mo-W. Повышенная каталитическая активность покрытий обусловлена как высокой степенью развития поверхности, так и синергетическим эффектом сплавообразующих металлов. Совокупность кинетических критериев указывает на необратимое электрокаталитическое окисление метанола на исследованных сплавах в режиме смешанной кинетики через стадию адсорбции реагента. Тернарные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью в щелочных средах и по значению глубинного показателя коррозии относятся к весьма стойким. Высокие каталитическая активность и коррозионная стойкость сплавов Co-Mo-W и Co-Mo-Zr позволяют рассматривать их как перспективные материалы электрохимической энергетики, в том числе для проточных редокс аккумуляторов и топливных элементов.

Ключевые слова: тернарные сплавы кобальта, окисление метанола, предельный ток, электрокатализ, коррозионная стойкость.

Т. О. НЕНАСТИНА, М. В. ВЕДЬ, М. Д. САХНЕНКО, В. О. ПРОСКУРИНА, І. Ю. ЕРМОЛЕНКО ЕЛЕКТРОКАТАЛІТИЧНЕ ОКИСЛЕННЯ МЕТАНОЛУ НА ТЕРНАРНИХ СПЛАВАХ КОБАЛЬТУ

Електролітичні покриття тернарними сплавами Co-Mo-W і Co-Mo-Zr, нанесеними з комплексних пірофосфатних-цитратних електролітів, відрізняються рівномірно розвинутою поверхнею, рельєф і ступінь розвинення якої сприятливі для реалізації каталітичних процесів. Електрокаталітичне окиснення метанола, як енергосмого реагенту паливних елементів, на електродах їх зазначених сплавів характеризується наявністю однієї хвилі з чітко вираженим граничним струмом. Активність електродів з тернарними покриттями в реакції окиснення метанола значно вище, ніж платини, причому для сплаву Co-Mo-Zr висота піку в 2-2.5 рази вище, ніж для Co-Mo-W. Підвищена каталітична активність покриттів обумовлена як високим ступенем розвинення поверхні, так і синергетическим ефектом сплавовірних металів. Сукупність кінетичних критеріїв вказує на необоротне електрокаталітичне окиснення метанола на досліджених сплавах в режимі змішаної кінетики через стадію адсорбції реагентів. Тернарні покриття мають високу корозійну стійкість в лужних середовищах і за значенням глибинного показника корозії відносяться до вельми стійких. Високі каталітична активність і корозійна стійкість сплавів Co-Mo-W і Co-Mo-Zr дозволяють розглядати їх як перспективні матеріали електрохімічної енергетики, в тому числі для проточних редокс акумуляторів і паливних елементів.

Ключові слова: тернарні сплави кобальту, окиснення метанола, граничний струм, електрокатализ, корозійна стійкість.

Т. А. NENASTINA, M. V. VED', N. D. SAKHNENKO, V. O. PROSKURINA, I. Y. YERMOLENKO ELECTROCATALYTIC OXIDATION OF METHANOL ON TERNARY COBALT ALLOYS

Electrolytic coatings ternary Co-Mo-W and Co-Mo-Zr alloys, deposited from complex pyrophosphate-citrate electrolytes, are distinguished by a uniformly developed surface, the relief and degree of development of which are favorable for the realization of catalytic processes. Electrocatalytic oxidation of methanol, as an energy-consuming fuel cell reagent, on the electrodes of these alloys is characterized by the presence a single wave with a clearly defined limiting current. The activity of electrodes with ternary coatings in the oxidation of methanol is significantly higher than that of platinum, and for the Co-Mo-Zr alloy, the peak height is 2–2.5 times than for Co-Mo-W. The increased catalytic activity of the coatings is due to both a high degree of surface development and the synergistic effect of alloying metals. The combination of kinetic criteria indicates the irreversible electrocatalytic oxidation of methanol on the studied alloys in the mixed kinetics mode through the stage of adsorption of the reactant. Ternary coatings have a high corrosion resistance in alkaline media and, by the value of the deep corrosion index, are very resistant. The high catalytic activity and corrosion resistance of the Co-Mo-W and Co-Mo-Zr alloys make it possible to consider them as promising materials for the electrochemical power industry, including for red-ox flow batteries and fuel cells.

Key words: ternary cobalt alloys, methanol oxidation, current limit, electrocatalysis, corrosion resistance.

Введение. Энергетическая безопасность страны, как залог ее устойчивого развития, является много-векторной задачей, одним из элементов которой было и остается создание автономных источников энергии (АИЭ). Среди широкого круга АИЭ водородно-кислородные топливные элементы (ТЭ) позиционируются как наиболее экологически безопасные и перспективные, поскольку продуктом токообразующих реакций является вода. Наиболее значимой проблемой в создании высокоэффективных ТЭ является выбор электродных материалов–катализаторов, ибо в подавляющем большинстве случаев на их изготовление расходуются металлы семейства платины и серебро [1]. Такие материалы, помимо высокой электрокаталитической активности, отличаются химической стойкостью в средах различной агрессивности. В ряде работ [2 – 4] показано, что альтернативу плати-нидам по каталитическим свойствам и коррозионной

стойкости могут составить многокомпонентные сплавы на основе переходных металлов. В последние годы широкое развитие получили работы по исследованию новых видов топлива в ТЭ – метанола, этанола, формальдегида [5, 6], которые имеют преимущества в сравнении с чистым водородом, поскольку их легко хранить и транспортировать, а энергетическая емкость сравнима с энергетической емкостью углеводородных топлив (бензина, керосина и др.). Исследования показали, что на металлах семейства платины различные органические вещества обратимо окисляются при сравнительно невысоких анодных потенциалах, а механизм и продукты электрокаталитического окисления зависят от материала электрода [7]. Основные требования к катализаторам можно свести к трем основным – высокая каталитическая активность, химическая и коррозионная стойкость, устойчивость к отравлению. Активность катализаторов, оп-

© Т. А. Ненастина, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, В. О. Проскурина, И. Ю. Ермоленко, 2018

ределяемая природой материала, в значительной степени зависит и от состояния поверхности. Известно, что соединения молибдена обладают определенной каталитической активностью в отношении многих процессов, таких как электрохимическое окисление метанола, восстановление иодатов, кислорода и т.д. [8]. Широко применяются в электрокатализе и соединения кобальта, в частности, оксиды [9]. Очевидно, это связано с мобильностью кислорода в составе соединений обоих металлов, высокой акцепторной емкостью и способностью образовывать нестехиометрические оксиды. Применение щелочных электролитов позволяет расширить круг металлов, которые можно использовать для создания каталитических систем. Это обусловлено ускорением реакции восстановления кислорода и простых спиртов в щелочных электролитах по сравнению с кислотными, а также меньшей коррозионной агрессивностью по отношению к большинству переходных металлов. В то же время отсутствие интереса к окислению метанола в щелочной среде объясняется его постепенной карбонизацией с участием CO_2 и отравлением электродов на основе благородных металлов [10], а катализаторами, менее подверженными отравлению, оказались сплавы переходных металлов [11, 12]. Можно ожидать, что многокомпонентные электролитические сплавы на основе кобальта могут оказаться эффективными электрокатализаторами окисления метанола, поэтому изучение влияния природы сплава на скорость анодного окисления метанола в щелочных электролитах, а также коррозионной стойкости электродных материалов, явилось предметом данной статьи.

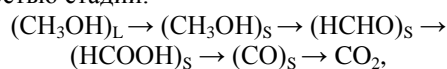
Методика измерений. Кинетику электролитического окисления метанола исследовали на электролитических покрытиях тернарными сплавами кобальта Co-Mo-W, Co-Mo-Zr, Co-Fe-W и Co-Fe-Mo, которые наносили из комплексных пиррофосфатно-цитратных электролитов [8] на подложки из стали 20. Осаждение проводили постоянным и импульсным током при варьировании температуры, плотности тока, частоты и скважности импульсов [11]. Состав покрытий определяли рентгенофлуоресцентным методом на портативном спектрометре «Спрут». Рельеф и морфологию поверхности анализировали по данным сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Поляризационные зависимости в режиме линейной (ЛВА) и циклической (ЦВАМ) вольтамперометрии регистрировали с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 с программатором ПР-8, снабженного платой для цифровой регистрации данных. Скорость разветки потенциала варьировали в интервале $s = 0,002 \dots 0,05$ В/с, измерения проводили в стандартной трехэлектродной ячейке ЯСЕ-2, вспомогательным электродом служила платиновая спираль, электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный полужелезистый элемент. Электролит – 1 М CH_3OH + 0,25 М NaOH готовили из реактивов квалификации ч.д.а. на дистиллированной воде.

Коррозионную стойкость покрытий исследовали методом электродного импеданса в модельном рас-

творе 0.25 М NaOH. Спектры электрохимического импеданса (СЭИ) регистрировали в двухэлектродной ячейке с электродами площадью 1см^2 , расположенными на расстоянии 1 см друг от друга на электрохимическом модуле Autolab-30 модели PGSTAT301N Metrohm Autolab, оснащенный модулем FRA-2 (Frequency Response Analyzer) в интервале $10^{-2} - 10^6$ Гц. Управление модулем осуществляли при помощи программы Autolab 4.9 по стандартной процедуре с последующей обработкой в пакете Zview 2.0. Моделирование строения границы раздела фаз осуществляли по методу эквивалентных схем. К рассмотрению приняты параметры с ошибкой моделирования эквивалентной цепи не более 10 %.

Результаты и их обсуждение. Полное окисление метанола является многостадийным процессом, который можно представить в общем виде последовательностью стадий:



где $()_L$ – частицы в растворе, $()_S$ – адсорбированные промежуточные продукты.

В этом процессе могут принимать участие и промежуточные оксиды, образующиеся на поверхности электрода-катализатора при анодной поляризации, причем обратимость процессов на электродах является предпосылкой эффективной работы катализаторов.

Полученные покрытия отличаются равномерно развитой поверхностью, однако следует отметить наличие на поверхности сетки трещин, которая обусловлена внутренними напряжениями при достаточном высоком содержании тугоплавких компонентов (рис. 1). По результатам анализа данных АСМ следует отметить более глобулярную и развитую поверхность сплавов CoMoZr в сравнении с Co-Mo-W. Параметры шероховатости R_a и R_q на площади сечения 20×20 мкм составляют для покрытия CoMoZr 0.1 и 0.2 соответственно, а для Co-Mo-W – в пять раз меньше – 0.02 и 0.04. Тем не менее, рельеф и степень развития поверхности, как было показано ранее [13, 14], благоприятны для каталитических процессов, не только проходящих через стадию адсорбции, но и реализующихся в диффузионном режиме.

Изучение электрохимического поведения покрытий сплавами позволяет заключить, что на анодных участках циклических вольтамперограмм (ЦВАГ) в интервале потенциалов окисления метанола наблюдается одна волна с четко выраженным предельным током. Сравнительный анализ ЦВАГ показывает, что активность электродов с покрытиями Co-Mo-W и Co-Mo-Zr (рис. 2, а) в реакции окисления метанола значительно выше, чем платины (рис. 2, б) и железосодержащих тернарных сплавов. Причем для покрытий Co-Mo-Zr высота пика в 2–2.5 раза превышает значение для Co-Mo-W. Такая повышенная активность электродов на основе тернарных сплавов может быть объяснена как геометрическим фактором, связанным с более высокой степенью развития поверхности, так и результатом синергетического эффекта сплавообразующих металлов, обладающих различной

энергией связи с кислородом. Необходимо отметить, что волна окисления метанола на сплавах симметрична относительно тока пика j_p , что может свидетельствовать об адсорбционном характере происходящих процессов.

Каталитический эффект электролитического сплава Co-Mo-Zr в реакции анодного окисления метанола в щелочном растворе подтверждается характером вольтамперограмм, полученных в фоновом рас-

творе 0,25 M NaOH (рис. 2, в, зависимость 1) и при введении 1 M CH₃OH (рис. 2, в, зависимость 2).

Основные эффекты, наблюдаемые при прибавлении метанола к электролиту – смещение потенциала пика в положительную сторону и значительный рост пика анодного тока, свидетельствуют о том, что покрытие тернарным сплавом непосредственно участвует в реакции электроокисления метанола.

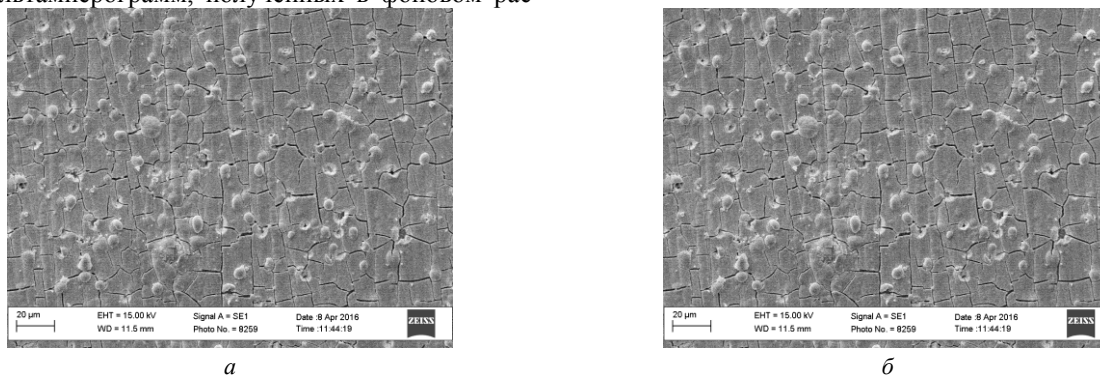


Рис. 1 – СЭМ покрытий CoMoZr (а) и CoMoW (б)

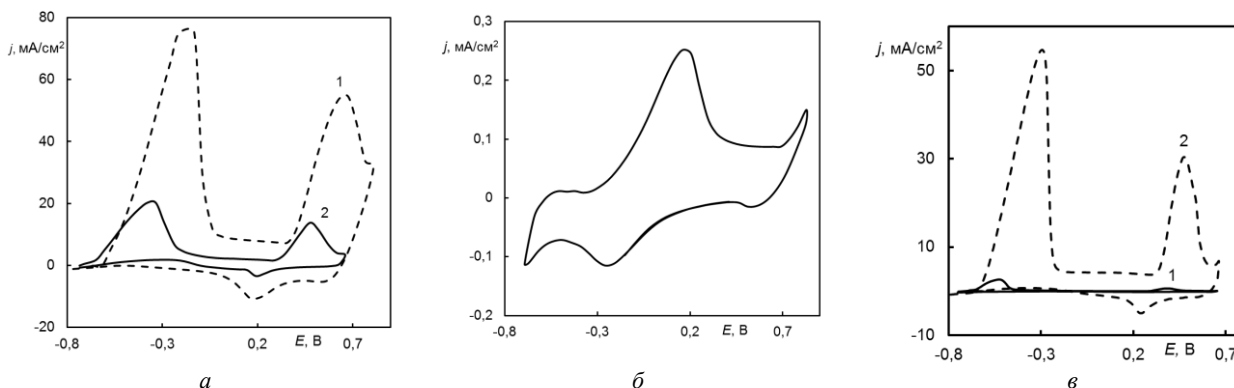


Рис. 2 – Циклические вольтамперограммы электроокисления метанола на электродах Co-Mo-Zr (1) и Co-Mo-W (2) (а), платине (б), а также зарегистрированные на электродах Co-Mo-Zr в растворах 0.25 M NaOH (1) и 0.25 M NaOH + 1 M CH₃OH (2) (в)

Системное исследование природы и механизма электрокаталитического окисления метанола на электродах из тернарных сплавов позволило установить ряд закономерностей. Так, линейный характер характеристической зависимости $\sqrt{j_p} = f(s)$ свидетельствует, что окисление метанола на Co-Mo-Zr и Co-Mo-W электродах контролируется диффузией. Следует отметить, что скорость развертки потенциала влияет на потенциалы пиков окисления и восстановления, причем с увеличением скорости сканирования эти значения сближаются.

Зависимость разности логарифмов тока пика от разности логарифмов скорости сканирования потенциала при постоянной концентрации метанола, т.е. линеаризованное выражение тока пика диффузионного процесса (критерий Семерано) составляет $X_s = 0.60$ для первого цикла сканирования на сплаве Co-Mo-Zr и возрастает до $X_s = 0.92$ – для шестого, что указывает на адсорбционные затруднения электродного процесса. Такое поведение характерно именно для гетерогенных каталитических реакций. В то же время критерий Семерано для сплава Co-Mo-W не изменяется при циклировании и состав-

ляет $X_s = 0.50$, что свидетельствует о замедленной химической или электрохимической стадии. В связи с этим и каталитический эффект Co-Mo-W ниже в сравнении с Co-Mo-Zr. Линейная зависимость тока пика при увеличении скорости развертки потенциала для сплава Co-Mo-Zr имеет положительный угловой коэффициент и для первого цикла сканирования потенциала проходит через начало координат, в то время как для сплава Co-Mo-W эта зависимость не является линейной. Потенциалы пиков E_p с увеличением скорости развертки потенциала смещаются в область положительных значений, и для электродов с покрытием Co-Mo-Zr линеаризуются в координатах $E_p - \lg s$. Рассчитанные по уравнению Я. Гохштейна произведение коэффициента переноса на число электронов (αz) для сплава Co-Mo-Zr составляет 0.3, а для сплава Co-Mo-W – 1. Поляризационные зависимости окисления метанола на сплаве Co-Mo-Zr линеаризуются в координатах смешанной кинетики, указывая на необратимость рассматриваемого процесса.

О природе стадии, лимитирующей электродный процесс, можно судить и по характеру зависимости

отношения токов прямого I_a и обратного I_k пиков I_a/I_k от скорости развертки потенциала s . Отношение прямого и обратного токов с увеличением s проходит через максимум, оставаясь меньше единицы, причем прямой пик изменяется заметнее, чем обратный (табл. 1), что служит основанием для утверждения об адсорбции метанола на поверхности электрода. Установлено, что после восьмого цикла значения потенциалов и токов пиков для исследуемых сплавов не изменяются.

Таблица 1 – Влияние числа циклов развертки потенциала на ток пика окисления метанола

Ток пика, мА/см ²	Номер цикла							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Прямой	46.5	30.0	26.2	24.0	21.0	19.4	17.0	16.0
Обратный	5.2	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой электрокаталитической активности тернарных сплавов на основе кобальта, в частности Co–Mo–Zr, в реакции окисления метанола в щелочной среде. На основании проведенных исследований можно заключить, что замедленной стадией является реакция $(\text{CH}_3\text{OH})_S \rightarrow (\text{HCHO})_S$, что позволяет обеспечить циклирование процесса и препятствует образованию диоксида углерода.

Необходимым условием устойчивой работы каталитического покрытия является его высокая коррозионная стойкость. Из анализа спектров электродного импеданса электродов с покрытиями сплавами в координатах Найквиста (рис. 3, *a*) и Боде (рис. 3, *б*) можно заключить, что системы могут быть описаны модифицированной эквивалентной схемой Войта, характерной для мультифазных систем [8], которая включает R1 – сопротивление электролита, L – сопротивление индуктивности, CPE – элемент постоянной фазы (емкость границы раздела фаз), фарадеевское сопротивление R_f . Элементы CPE определяют фразность фаз, а сопротивление индуктивности обусловлено возникновением гальваномагнитного эффекта Холла в области высоких частот, характерного для металлов, образующих на поверхности гидратированные оксидные пленки переменной валентности. Возникновение гальваномагнитного эффекта подтверждается и переходом фазового угла в сторону положительных значений на диаграммах Боде.

При потенциале свободной коррозии глубинный показатель коррозии системы Co–Mo–W, вычисленный по значению фарадеевского сопротивления, составляет $k_h < 0.05$ мм/год, отражая химическую стойкость материала. Сопротивление коррозии электрода с покрытием Co–Mo–Zr на порядок выше в сравнении с Co–Mo–W, о чем свидетельствует значение $k_h < 0.01$ мм/год, очевидно в связи с включением резистивных стехиометрических оксидов циркония в состав поверхностных слоев, что позволяет считать такое покрытие весьма стойким.

Таким образом, высокие каталитическая активность и коррозионная стойкость покрытий Co–Mo–Zr позволяет их рассматривать как перспективные элект-

родные материалы химических источников тока, в частности топливных элементов.

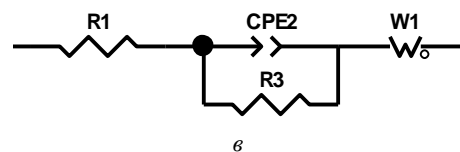
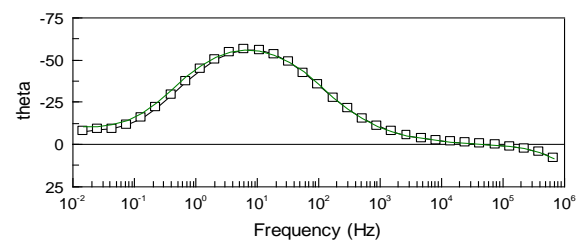
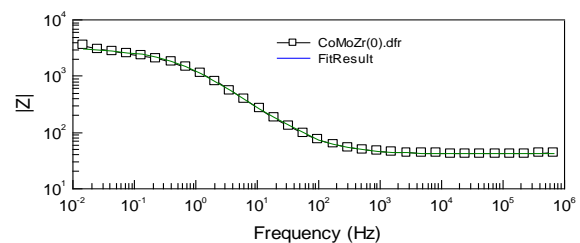
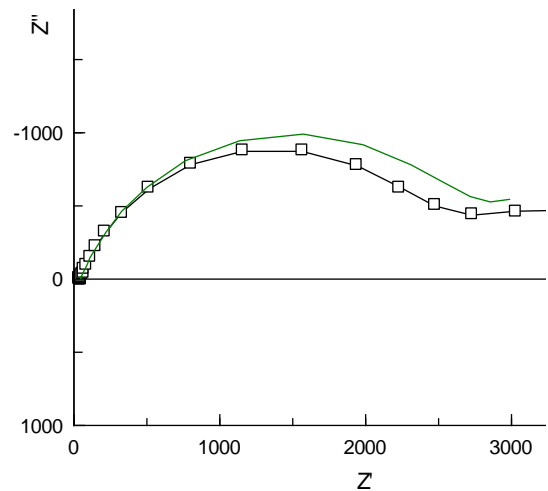


Рис. 3 – Спектры электродного импеданса электродов с покрытиями сплавом Co–Mo–Zr в координатах Найквиста (*a*) и Боде (*б*) и эквивалентная схема замещения (*в*)

Выводы. 1. Электролитические покрытия тернарными сплавами Co–Mo–W и Co–Mo–Zr, нанесенные из комплексных пирофосфатно-цитратных электролитов на подложки из стали 20 постоянным либо импульсным током при варьировании параметров электролиза отличаются равномерно развитой поверхностью, рельеф и степень развития которой благоприятны для реализации каталитических процессов.

2. На анодных участках циклических вольтамперограмм для исследованных сплавов в интервале потенциалов окисления метанола наблюдается одна волна с четко выраженным предельным током. Установлено, что активность электродов с покрытиями

Co–Mo–W и Co–Mo–Zr в реакции окисления метанола значительно выше, чем платины, причем для покрытия Co–Mo–Zr высота пика в 2–2.5 раза превышает аналогичное значение для Co–Mo–W. Повышенная активность покрытий тернарными сплавами обусловлена как геометрическим фактором, связанным с более высокой степенью развития поверхности, так и синергетическим эффектом сплавообразующих металлов, обладающих различной энергией связи с кислородом.

3. На основании анализа кинетических критериев установлено, что электрокаталитическое окисление метанола на исследованных сплавах протекает необратимо в режиме смешанной кинетики через стадии адсорбции реагента.

4. Покрытия тернарными сплавами Co–Mo–W и Co–Mo–Zr обладают высокой химической стойкостью в щелочных средах и по значению глубинного показателя коррозии могут быть отнесены к весьма стойким, что соответствует 4 и 3 баллам стойкости, соответственно, по десятибалльной шкале.

5. Высокие каталитическая активность и коррозионная стойкость покрытий тернарными сплавами Co–Mo–W и Co–Mo–Zr позволяет рассматривать их как перспективные электродные материалы химических источников тока, в частности проточных аккумуляторов и топливных элементов.

Список литературы

1. M. Ved', M. Glushkova, N. Sakhnenko Catalytic properties of binary and ternary alloys based on silver *Functional Material*, 2013, Vol. 20., № 1, pp. 87–91. <http://dx.doi.org/10.15407/fm20.01.087>
2. N. D. Sakhnenko, M. V. Ved', Yu. K. Hapon, and T. A. Nenastina, Functional Coatings of Ternary Alloys of Cobalt with Refractory Metals *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2015, Vol. 88, No. 12, pp. 1941–1945. doi 10.1134/S1070427215012006X
3. G. Yar-Mukhamedova, M. Ved', N. Sakhnenko, T. Nenastina, Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten, *Applied Surface Science*, 2018, Vol. 445, pp. 298–307. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.03.171
4. M. V. Ved', M.A. Kozziar, N. D. Sakhnenko, M.A. Slavkova, Functional properties of electrolytic alloys of Cobalt with Molybdenum and Zirconium *Functional materials*, 2016, Vol. 23, No 3, pp. 420-426. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/fm23.03.420>.
5. C. Lamy, J.-M. Leger, and S. Srinivasan *Direct Methanol Fuel Cells: From a Twentieth Century Electrochemist's Dream to a Twenty-first Century Emerging Technology* *Modern Aspects of Electrochemistry*, Number 34, edited by John O'M. Bockris *et al.* Kluwer Academic /Plenum Publishers, New York, 2001. pp 53-118
6. J. R. C. Salgado, E. Antolini, E.R. Gonzalez, Carbon supported Pt–Co alloys as methanol resistant oxygen-reduction electrocatalysts for direct methanol fuel cells, *Appl. Catal.*, 2005, B 57, pp. 283–290.
7. M. Metikos-Hukovic, R. Babic, Y. Piljac, Kinetics and electrocatalysis of methanol oxidation on electrodeposited Pt and Pt70Ru30 catalysts, *J. New Mater. Electrochem. Syst.*, 2004, vol. 7, pp. 179–190.
8. Maryna V. Ved', Nikolay D. Sakhnenko, Iryna Yu. Yermolenko, Tatyana A. Nenastina. Nanostructured Functional Coatings of Iron Family Metals with Refractory Elements. Chapter 1: in the book *Nanochemistry, Biotechnology, Nanomaterials, and Their Applications*, Springer Proceedings in Physics 214, O. Fesenko, L. Yatsenko (eds.). – Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018, pp. 3–34. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92567-7_1.
9. E. Vernickaite, N. Tsyntsaru, H. Cesiulis Electrodeposited Co-W alloys and their prospects as effective anode for methanol oxidation in acidic media, *Surface & Coatings Technology*, 2016, Vol. 307, Part C, pp. 1322–1328
10. A.V. Tripković, K.D. Popović, J.D. Lović, V.M. Jovanović, A. Kowal, Methanol oxidation at platinum electrodes in alkaline solution: comparison between supported catalysts and model systems, *J. Electroanal. Chem.*, 2004, vol. 572, pp. 119–128.
11. A. V. Karakurkchi, M. V. Ved', I. Yu. Ermolenko, and N. D. Sakhnenko Electrochemical Deposition of Fe–Mo–W Alloy Coatings from Citrate Electrolyte, *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2016, Vol. 52, No. 1, pp. 43–49. DOI: 10.3103/S1068375516010087
12. M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, H. V. Karakurkchi, I. Yu. Ermolenko, L. P. Fomina, Functional Properties of Fe–Mo and Fe–Mo–W Galvanic Alloys // *Materials Science*. – 2016. – V. 51, No 5. – pp. 701-710. DOI:10.1007/s11003-016-9893-5
13. M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, O. V. Bohoyavlens'ka, T. O. Nenastina. Modeling of the surface treatment of passive metals *Materials science*, 2008, Vol. 44, No 1, pp. 79–86. DOI: 10.1007/s11003-008-9046-6
14. I. Yu. Yermolenko, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, L. P. Fomina, I. G. Shipkova, Galvanic ternary Fe–Co–W coatings: structure, composition and magnetic properties, *Functional materials*, 2018, Vol. 25, No. 2, pp. 274-281 <https://doi.org/10.15407/fm25.02.274>.

Надійшло (received) 29.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ненастіна Тетяна Олександрівна (Nenastina Tatiana Aleksandrovna) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харків; тел.: (050) 971-99-15, e-mail: nenastina@ukr.net.

Ведь Марина Віталіївна (Ved' Maryna Vitaliyivna) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії, Харків; тел.: (057) 707–61–04, e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua.

Сахненко Микола Дмитрович (Sakhnenko Nikolay Dmytrovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії, Харків, тел.: (057) 707-63–27, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Проскуріна Валерія Олегівна (Proskurina Valeria Olegovna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії, Харків; тел.: (057) 707–68–20, e-mail: voproskurina@gmail.com.

Ермоленко Ірина Юрійівна (Yermolenko Irina Yuriyevna) – кандидат технічних наук, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник, Харків; тел.: (063) 417–35–44, e-mail: kirilesha72@gmail.com.