

КИНЕТИКА КОРРОЗИИ СТАЛИ МАРКИ Ст3 В ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПО-6ЦТ. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Е.П. Гришина, Н.О. Кудрякова, А.Н. Предеин, С.В. Беляев

Елена Павловна Гришина*, Надежда Олеговна Кудрякова

Лаборатория «Структура и динамика молекулярных и ион-молекулярных растворов», Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, 1, Иваново, Российская Федерация, 153045

E-mail: epg@isc-ras.ru*, kno@isc-ras.ru

Александр Николаевич Предеин, Сергей Валерьевич Беляев

Кафедра естественнонаучных дисциплин, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, просп. Строителей, 33, Иваново, Российская Федерация, 153011

E-mail: predein_92@mail.ru, Sergej_Belyaev@mail.ru

Пенообразователи для тушения пожаров необходимо хранить в концентрированном виде. Допускается хранение в емкостях из стали Ст3. Однако этот металл может корродировать, что наносит ущерб резервуарам для хранения, а продукты коррозии стали снижают качество вспенивающего агента. В данной работе электрохимическими методами (потенциометрия, вольтамперометрия, электрохимическая импедансная спектроскопия) изучено коррозионное поведение стали марки Ст3 в коммерческом пенообразователе для тушения пожаров ПО-6ЦТ. Было обнаружено, что в течение периода испытаний, который длился 6 недель, коррозионный потенциал стали колебался, но его значение в целом было более отрицательным, чем начальное. Наибольшие изменения импеданса образца стали в процессе коррозии происходят в первые две недели контакта с коррозионной средой. Для интерпретации импедансных данных, отражающих процесс коррозии, который происходил под пористым слоем продуктов коррозии, была применена эквивалентная схема, учитывающая две постоянные времени. Показано, что сопротивление переносу заряда (R_{ct}) между корродирующим металлом и продуктами коррозии, емкость двойного электрического слоя (C_{dl}) и сопротивление электролита в порах слоя продуктов коррозии (R_{po}) являются высокими в этот период. Впоследствии R_{ct} уменьшается и устанавливается на уровне, в 3 раза ниже первоначального. Свойства границы раздела металл/электролит также стабилизируются, при этом значения C_{dl} и R_{po} выше исходных в 5 и в 10 раз соответственно. Показано, что коррозионный процесс протекает с активационным контролем скорости. Интенсификация коррозии обусловлена низкой защитной способностью формирующейся оксидно-гидроксидной пленки продуктов коррозии металла и существенным снижением сопротивления переносу заряда в реакции окисления металла. Отмечено повышение кислотности коррозионной среды при длительных испытаниях, что является одним из факторов, облегчающих коррозионный процесс.

Ключевые слова: сталь Ст3, коррозия, пенообразователь для тушения пожаров, вольтамперометрия, электрохимическая импедансная спектроскопия

KINETICS OF CORROSION OF STEEL St3 IN PO-6CT FOAMING AGENT FOR FIRE EXTINGUISHING. ELECTROCHEMICAL INVESTIGATION

E.P. Grishina, N.O. Kudryakova, A.N. Predein, S.V. Belyaev

Elena P. Grishina*, Nadezhda O. Kudryakova

Laboratory of Structure and Dynamics of Molecular and Ion-Molecular Solutions, G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS, Akademicheskaya st., 1, Ivanovo, 153045, Russia

E-mail: epg@isc-ras.ru*, kno@isc-ras.ru

Aleksandr N. Predein, Sergej V. Belyaev

Faculty of Natural Science Disciplines, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Stroiteley ave., 33, Ivanovo, 153011, Russia

E-mail: predein_92@mail.ru, Sergej_Belyaev@mail.ru

Foaming agents for extinguishing fires are to be stored in a concentrated form. Storage of concentrate in St3 steel containers is allowed. However, this metal can be corroded, which damages the storage tanks, and corrosion products of steel reduce the quality of the foaming agent. The kinetics of metal corrosion depends on the type of foaming agent and the temperature storage conditions. In this study, the corrosion behavior of St3 steel in commercial concentrate of the PO-6CT foam for extinguishing fires was studied by electrochemical methods (potentiometry, voltammetry, electrochemical impedance spectroscopy) at 27 ± 1 °C. It was found that during the testing period, which lasted for 6 weeks, the corrosion potential of steel began to undergo sharp fluctuations, but its value was generally negative than the initial value. The greatest changes in the impedance of the steel sample during the corrosion process occur in the first two weeks of contact with the corrosive medium. An equivalent circuit, which takes into account the two time constants was used to interpret the impedance data of the corrosion process which was occurred under the porous layer of corrosion products. It is shown, the charge transfer resistance (R_{ct}) between the corrosive metal and corrosion products, the capacity of the double electrical layer (C_{dl}) and the electrolyte resistance in the pores of the corrosion products layer (R_{po}) highly increase during this period. Subsequently, the R_{ct} is decreased and stabilized at a level 3 times lower than the original value. The properties of the metal/electrolyte interface were stabilized, but the C_{dl} value and the R_{po} values are increased by 5 times and by 10 times, respectively. This indicates a high degree of the surface rust and a stable state of the corrosion products layer. Polarization studies have shown that the anodic and cathodic polarization curves have a Tafel slope equals to 0.147 V and 0.187 V, respectively. This is due to the presence of an oxide-hydroxide film on the electrode surface. The calculated value of the mass index of corrosion rate is $2.46 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Thus, the experiment showed that the St3 corrosion proceeds with activation control of the process rate. The corrosive behavior of St3 in the PO-6CT foaming agent for fire extinguishing is a consequence of the physicochemical features of this system. Primary corrosion products of steel St3 (Fe^{+2} ions) can be readily oxidized to Fe^{+3} by dissolved oxygen of air, and Fe^{+3} ions undergo hydrolysis, which leads to an increase in the acidity of the foaming agent and, correspondingly, an increase in its corrosive activity.

Key words: St3 steel, corrosion, foaming agent for fire extinguishing, voltammetry, electrochemical impedance spectroscopy

Для цитирования:

Гришина Е.П., Кудрякова Н.О., Предеин А.Н., Беляев С.В. Кинетика коррозии стали марки Ст3 в пенообразователе для пожаротушения ПО-6ЦТ. Электрохимическое исследование. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 1. С. 30–36

For citation:

Grishina E.P., Kudryakova N.O., Predein A.N., Belyaev S.V. Kinetics of corrosion of steel St3 in PO-6CT foaming agent for fire extinguishing. electrochemical investigation. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 1. P. 30–36

ВВЕДЕНИЕ

Для тушения пожаров класса А (горение твердых веществ) и В (горение легко воспламеняющихся и горючих жидкостей) требуется теплопоглощающее воздействие воды или водных растворов и вытеснение кислорода из зоны горения, что обеспечивается применением водных растворов пенообразователей (ПО). Перечень пенообразователей, применяемых в системах пенного пожаротушения, достаточно обширный. Требования к их эксплуатационным и основным физико-химическим свойствам сформулированы в ГОСТ Р 50588-2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний» [1]. В частности, для пенообразователей всех типов нормируется значение водородного показателя (рН), которое должно находиться в пределах 6,5-8,5. Это область рН среды, в которой скорость коррозии оборудования, применяемого для пожаротушения, минимальна [2].

Согласно рекомендациям [3], пенообразователи всех типов следует хранить в концентрированном виде в закрытых емкостях, оптимально при температуре 20 °С. Допускается хранение пенообразователей (кроме фторсодержащих) в емкостях из углеродистой стали (марка Ст3). При оптимальной температуре коррозионная активность пенообразователей по отношению к Ст3 не должна превышать $0,5-2,0 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Срок хранения концентратов пенообразователей в емкостях из Ст3 при температуре 20 °С, согласно [3], составляет не менее 5 лет. Однако отмечается [2], что через некоторое время сталь корродирует с образованием окислов железа, которые снижают качество пенообразователей. Показатели скорости коррозии стальных труб и установок пенного пожаротушения, определенные при воздействии воды и различных пенообразователей, находятся в установленных допустимых пределах в интервале рН от 6 до 8,5 [4].

Состав пенообразователей для пожаротушения, как правило, многокомпонентный. Помимо основного поверхностно-активного вещества – стабилизатора пены, ПО содержит различные добавки, улучшающие его эксплуатационные характеристики – температуру замерзания, вязкость, сохраняемость, коррозионную активность, и целевые характеристики – огнетушащую и пенообразующую способность [5]. В частности, многообразны по своему химическому составу добавляемые ингибиторы коррозии, предназначенных для снижения коррозионной активности пенообразующих составов. Используются соединения органической

и неорганической природы, такие, как нитрит натрия, смесь гидроксида натрия и хромата циклогексиламина, сульфиты и дитиониты, синергетическая смесь бензотриазола и хромата циклогексиламина [5], натрий или аммоний фосфорнокислый двузамещенный [6], хромат мочевины [7], полифосфат [8] и другие. При добавлении ингибиторов устойчивость углеродистых сталей к коррозии возрастает в несколько раз, но, как было отмечено в работе [5], этот эффект непродолжительный, и по истечении нескольких месяцев контакта с ПО коррозионные поражения металла резко нарастают. В связи с этим коррозионные исследования в растворах пенообразователей актуальны и направлены на прогнозирование надежности эксплуатационных характеристик оборудования, предназначенного, в первую очередь, для хранения пенообразователей.

В данной работе приводятся и обсуждаются результаты исследования кинетики коррозии стали Ст3 в коммерческом концентрате пенообразователя ПО-6ЦТ электрохимическими методами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты исследования. Была изучена коррозионная активность пенообразователя (концентрата) для тушения пожаров ПО-6ЦТ. Пенообразователь ПО-6ЦТ (ТУ 0258-148-05744685-98) является синтетическим углеводородным биоразлагаемым пенообразователем целевого назначения с повышенной огнетушащей способностью (тип S) и предназначен для тушения пожаров классов А и В с применением пены низкой, средней и высокой кратности. Данный пенообразователь представляет собой водный раствор синтетических углеводородных анионных поверхностно-активных веществ со стабилизирующими добавками. Водородный показатель пенообразователя ПО-6ЦТ нормирован в пределах 6,5-8,5.

В работе проводили исследование коррозионного поведения стали Ст3. Исследуемые образцы, изготовленные в виде пластин 1×5 см, перед проведением коррозионных испытаний тщательно обезжировали этиловым спиртом.

Методы исследования. Подготовленные для исследований пластины помещали в коррозионную ячейку, которая представляла собой пропиленовый градуированный цилиндр с закручивающейся крышкой. Образцы были погружены в естественно аэрированный пенообразователь на 2 см (по высоте) и выдержаны в закрытой коррозионной ячейке в течение 6 недель при температуре 27 ± 1 °С.

Свойства межфазной границы корродирующий металл/раствор периодически контролировали методами потенциометрии и импедансометрии (анализатор импеданса и амплитудно-фазовых характеристик Solartron SI 1260A, напряжение на ячейке 10 мВ, частотный диапазон измерений – 10^{-2} - 10^4 Гц, противоэлектрод – платинированная платиновая сетка). Полученные данные были обработаны с помощью программного обеспечения Zplot и Zview 2.

Поляризационное поведение Ст3 изучали при температуре 27 °С методом вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала (потенциостат ПИ 50-Pro-3 под управлением программного обеспечения PS_Pack_2). Контурный электрод изготовлен из платины, электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный. Скорость развертки потенциала $1 \cdot 10^{-3}$ В с⁻¹.

Внешний вид образцов после коррозии оценивали визуально и при помощи оптического микроскопа Микромед Р-1 и присоединенной к нему WEB-камеры «DCM-130»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Коррозионные испытания стали Ст3 в коммерческом концентрате пенообразователя ПО-6ЦТ проводили в течение 6 недель при температуре, превышающей рекомендуемую для хранения (до 20 °С, [3]), для температурной инициации коррозии, которая возможна при обычных условиях хранения ПО. Температура 25-30 °С является критической, превышение которой приводит к резкому возрастанию реакционной способности и растворимости защитных оксидно-солевых пленок на металлах [9].

Электродный потенциал Ст3 в растворах пенообразователя ПО-6ЦТ. Электродный потенциал металла и его изменение во времени характеризуют изменение состояния межфазной границы электрод/раствор. На рис. 1 показаны отклонения коррозионного потенциала E_{cor} Ст3 от начального значения при длительной экспозиции образцов в концентрате пенообразователя ПО-6ЦТ. Показано, что потенциал погружения (начальная точка кривой, соответствует времени погружения 10 мин) существенно положительнее, чем регистрируемый в дальнейшем. В первые часы контакта с коррозионной средой электродный потенциал резко смещается в отрицательном направлении, и принимает значение, близкое к стандартному электродному потенциалу окислительно-восстановительной реакции $Fe^{+2} + 2\bar{e} \leftrightarrow Fe$ ($E_{Fe^{+2},Fe}^0 = -0,44$ В относи-

тельно н.в.э. или -0,64 В относительно н.х.с.э.). Вероятно, смещение E_{cor} в отрицательном направлении обусловлено частичным растворением естественной оксидной пленки на поверхности металла, появлением в растворе некоторого количества ионов Fe^{+2} . В дальнейшем окисление металла протекает, по-видимому, с образованием множества различных соединений Fe(II) и Fe(III), включая продукты их гидролиза и комплексные соединения с компонентами пенообразователя. Результатом этого сложного процесса является образование рыхлого слоя продуктов коррозии как в объеме раствора, так и на поверхности стали. Образование оксидно-гидроксидной пленки и сложный состав растворимых продуктов коррозии в дальнейшем приводит к смещению E_{cor} в область более положительных значений. Обращает на себя внимание тот факт, что колебания коррозионного потенциала довольно резкие и, по-видимому, связаны с конкурированием процессов образования и растворения слоя продуктов коррозии, однако к окончанию испытаний его значение близко к исходному. Следует также отметить, что, по мере приближения к окончанию испытаний, количество продуктов коррозии стали в объеме раствора увеличивается, что также может влиять на измеряемое значение E_{cor} .

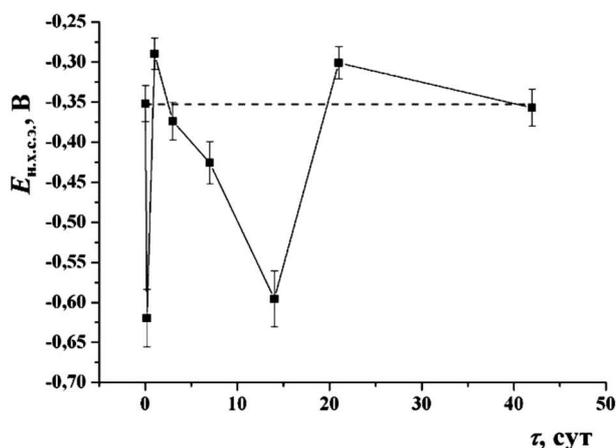


Рис. 1. Изменение электродного потенциала Ст3 во времени в концентрате пенообразователя ПО-6ЦТ при 27 ± 1 °С (штрихпунктирной линией показан уровень, соответствующий значению потенциала погружения)

Fig. 1. The change in the electrode potential of St3 steel over the time in the foaming agent concentrate PO-6CT at 27 ± 1 °C (the dot-dash line shows the level corresponding to the value of the immersion potential)

Импедансные измерения. Электрохимическая импедансная спектроскопия широко применяется для исследования коррозионных процессов, в частности, сопровождающихся образованием слоя продуктов окисления металла [10, 11] На рис. 2

представлены диаграммы Найквиста и Боде, показывающие изменение состояния границы раздела фаз металл/пенообразователь при потенциале разомкнутой цепи в зависимости от времени контакта.

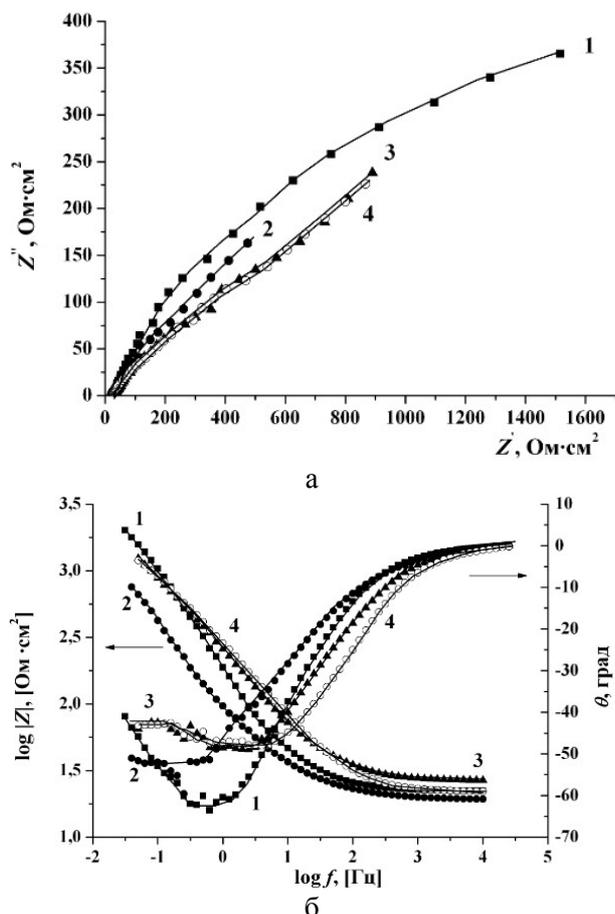


Рис. 2. Диаграммы Найквиста (а) и диаграммы Боде (б) коррозионной системы Ст3 - концентрат пенообразователя ПО-6ЦТ при различном времени контакта: 1 - 5 ч; 2 - 3 сут; 3 - 14 сут; 4 - 42 сут

Fig. 2. Nyquist diagrams (a) and Bode diagrams (б) of the corrosion system St3 - foaming agent concentrate PO-6CT at different contact times: 1 - 5 h; 2 - 3 days; 3 - 14 days; 4 - 42 days

Диаграммы Найквиста указывают на две постоянные времени коррозионного процесса. Поэтому для аппроксимации полученных данных была применена эквивалентная электрическая схема, соответствующая системе металл/пористое покрытие (рис. 3). Здесь R_{el} – сопротивление электролита между исследуемым и контурным электродами, CPE – элемент постоянной фазы, который отражает неидеальную емкость слоя продуктов коррозии ($Z_{CPE} = 1/Q(j\omega)^n$, где Z_{CPE} – импеданс элемента CPE , Q – коэффициент пропорциональности, $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, ω – круговая частота, n – показатель степени, принимающий значения от -1 до 1, при $n = 1$ элемент CPE переходит

в емкость), R_{po} – сопротивление электролита в порах слоя продуктов коррозии, C_{dl} – емкость двойного электрического слоя, R_{ct} – сопротивление переноса заряда между корродирующим металлом и продуктами коррозии [10].

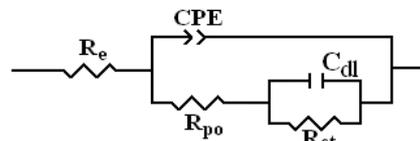


Рис. 3. Эквивалентная электрическая схема коррозионной системы Ст3 - концентрат пенообразователя ПО-6ЦТ
Fig. 3. Equivalent electrical circuit of the corrosion system St3 - foaming agent concentrate PO-6CT

Расчетные параметры спектра импеданса приведены в таблице.

Таблица

Расчетные параметры спектра импеданса коррозионной системы сталь Ст3 – концентрат пенообразователя ПО-6ЦТ

Table. Calculated parameters of the impedance spectrum of the corrosion system of steel St3 - concentrate of foaming agent PO-6CT

Расчетный параметр	Время контакта Ст3 с коррозионной средой, сут						
	0,2	1	3	7	14	21	42
$Q, \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ с}^n$	1,103	1,32	3,07	1,13	1,12	1,06	0,90
n	0,76	0,71	0,64	0,70	0,66	0,66	0,67
$R_{po}, \text{ Ом см}^2$	112	125	257	1490	1913	1440	1140
$C_{dl}, \text{ мкФ см}^2$	168	216	405	3632	2211	1200	842
$R_{ct}, \text{ Ом см}^2$	3494	4712	6705	5757	1799	909	1150

Согласно полученным данным, наибольшие изменения в исследуемой коррозионной системе развиваются в течение первых двух недель. При этом происходит значительное возрастание таких параметров, как R_{ct} , C_{dl} и R_{po} . Очевидно, что увеличение сопротивления переносу заряда связано с формированием слоя продуктов реакции, имеющего высокоразвитую поверхность и сложную систему пор. Об этом свидетельствует многократное увеличение емкости двойного электрического слоя и сопротивления электролита в порах слоя. Однако затем происходит снижение величины R_{ct} в 3 раза по сравнению с исходным значением и сохраняется на этом уровне до окончания испытаний, что указывает на формирование условий, способствующих облегчению перехода металла в ионизированное состояние. При этом свойства границы раздела фаз металл/электролит также стабилизируются, но значения параметров C_{dl} (возросло в ~5 раз) и R_{po} (возросло в ~10 раз) свидетельствуют о высокой степени растравленности поверхности и устойчивом состоянии слоя продуктов коррозии.

Поляризационные исследования. На рис. 4 показана коррозионная диаграмма, характеризующая кинетику анодного и катодного процессов, протекающих на Ст3 в исходном естественно аэрированном концентрате пенообразователя ПО-6ЦТ (рН = 7,9), не содержащем продуктов коррозии металла.

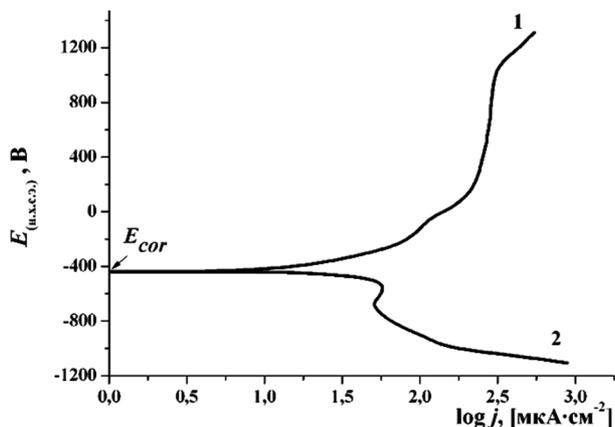


Рис. 4. Коррозионная диаграмма системы Ст3 - концентрат пенообразователя ПО-6ЦТ: 1 и 2 – соответственно анодная и катодная поляризационные кривые. 27 °С, скорость развертки потенциала $1 \cdot 10^{-3}$ В

Fig. 4. The corrosion diagram of the system St3 - foaming agent concentrate PO-6CT: 1 and 2 the anodic and cathodic polarization curves, respectively. 27 °C, the potential sweep rate is $1 \cdot 10^{-3}$ V

На анодной поляризационной кривой отсутствует ярко выраженная область пассивности, но в широкой области потенциалов плотность тока (j) изменяется незначительно и находится на уровне $230\text{--}290 \text{ мкА}\cdot\text{см}^{-2}$, что в 5-6 раз выше, чем, значения, полученные в близких экспериментальных условиях (рН = 8,4, скорость развертки потенциала $3 \cdot 10^{-3} \text{ В}\cdot\text{с}^{-1}$) на железе Армо [12]. Более высокие значения j , по-видимому, связаны с возможностью химического растворения пленки анодных продуктов с достаточно высокой скоростью в исследуемом растворе [13, 14].

На катодной поляризационной кривой наблюдается узкий участок предельного диффузионного тока, связанного с реакцией восстановления растворенного кислорода ($\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$), который в исследуемом растворе (рН = 7,9) играет роль катодного деполаризатора. Таким образом, начальная плотность коррозионного тока j_{cor} будет определяться предельным током восстановления кислорода ($j_{\text{lim}} = j_{\text{cor}} = 48\text{--}60 \text{ мкА}\cdot\text{см}^{-2}$), растворенного в концентрате пенообразователя. Учитывая высокую концентрацию ПО и отсутствие доступа дополнительных порций воздуха в закрытый резервуар в процессе испытаний, можно предположить, что скорость катодной реакции и коррозион-

ного процесса в целом в дальнейшем будут определять другие компоненты раствора. При этом, как показали импедансные исследования, коррозия протекает с активационным контролем скорости.

Рассчитанный на основе j_{cor} массовый показатель скорости коррозии составляет $V_m = (14\text{--}18) \cdot 10^{-8} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, что значительно выше нормируемого показателя для 20°C [3]. Превышение рассчитанного значения V_m по отношению к нормативному обусловлено такими факторами, как более высокая температура коррозионных испытаний (27 °С), а также эффект комплексообразования ионов Fe^{2+} с компонентами пенообразователя. Оба фактора способствуют повышению растворимости продуктов анодной реакции.

Визуальная оценка состояния поверхности Ст3. Поверхность металла, находившаяся непосредственно в пенообразователе, покрыта рыхлой пленкой продуктов коррозии черного цвета (FeO). На границе раздела воздух/жидкость поверхность имеет цвет, характерный для соединения $\text{Fe}(\text{OH})_3$, образование которого происходит в результате гидролиза ионов Fe^{3+} , либо в результате твердофазной реакции. Образующаяся пленка продуктов коррозии, которая представляет собой смесь оксидов железа $\text{Fe}(\text{II})$ и $\text{Fe}(\text{III})$, имеет низкую адгезию к поверхности металла, поэтому в коррозионной ячейке присутствует осадок черно-коричневого цвета, а также взвесь гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

ВЫВОДЫ

Исследование электрохимических свойств системы сталь Ст3 – концентрат пенообразователя ПО-6ЦТ показало, что интенсификация коррозионного процесса обусловлена низкой защитной способностью формирующейся пленки продуктов коррозии металла и существенным снижением сопротивления переносу заряда при окислении металла в процессе контакта с коррозионной средой. Картина коррозионного поведения Ст3 в пенообразователе ПО-6ЦТ является следствием физико-химических особенностей данной системы. Первичные продукты коррозии стали Ст3 – ионы Fe^{2+} могут легко окисляться до Fe^{3+} растворенным кислородом воздуха, а ионы Fe^{3+} подвергаются гидролизу, что приводит к повышению кислотности пенообразователя и, соответственно, повышению его коррозионной активности. Так, водородный показатель пенообразователя ПО-6ЦТ нормирован в пределах 6,5-8,5 (ТУ 0258-148-05744685-98), фактическое его значение на начало испытаний составляло 7,9, к окончанию испытаний – 7,0.

Рассчитанный массовый показатель скорости коррозии СтЗ показывают крайне высокую коррозионную активность концентрата пенообразователя ПО-6ЦТ по отношению к низкоуглеродистой стали СтЗ при обычных температурах. Образующиеся на поверхности стали слои продуктов коррозии не обладают защитным действием, накапливаются в объеме раствора, вызывают изме-

нение кислотности коррозионной среды, что, в совокупности, приводит к интенсивному развитию коррозионного процесса, протекающего с активационным контролем скорости.

Исследования методом импедансометрии выполнены на оборудовании центра коллективного пользования «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2012. 24 с.
2. **Казakov М.В., Петров И.П., Реутт В.Ч.** Средства и способы тушения пламени горючих жидкостей. М.: Стройиздат. 1977. 112 с.
3. **Копылов С.Н., Цариченко С.Г., Былинкин В.А., Пешков В.В., Архипов Е.Е., Жидовленков В.В.** Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров: Рекомендации. М.: ВНИИПО. 2007. 59 с.
4. **Иванов Е.Н.** Противопожарная защита открытых технологических установок. М.: Химия. 1986. 288 с.
5. **Шароварников А.Ф., Шароварников С.А.** Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М.: Пожнаука. 2005. 335 с.
6. **Навроцкий О.Д., Емельянов В.К., Заневская Ю.В.** Патент РБ (BY) МПК А 62D 1/04. 2006.
7. **Дыханов Н.Н., Байзульдин Б.М., Собеневский С.К., Светлов Е.Я., Сыртзов А.И., Турчин А.И.** Патент РФ № 2110307. МПК А 62D 1/02. 1997.
8. **Смагин В.В.** Патент РФ № 2158155 С1. МПК А 62D 1/00. 2000.
9. **Гришина Е.П., Румянцев Е.М.** Влияние концентрации серной кислоты на анодное поведение серебра в условиях потенциодинамической поляризации. *Электрохимия*. 2001. Т. 37. № 4. С. 474-478.
10. **Belkaid S., Ladjouz M.A., Hamdani S.** Effect of biofilm on naval steel corrosion in natural seawater. *J. Solid State Electrochem.* 2011. V. 15. P. 525-537
11. **Zhai X., Ma X., Myamina M., Duan J., Hou B.** Electrochemical study on 4,5-dichloro-2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one-added zinc coating in phosphate buffer saline medium with Escherichia coli. *J. Solid State Electrochem.* 2015. V. 19. P. 2213-2222
12. **Калужина С.А., Нафикова Н.Г.** Пассивность железа в слабощелочных боратных средах и ее нарушение под воздействием хлорид-ионов. *Вестн. ТГУ*. 2013. Т. 18. Вып. 5. С. 2290-2293.

REFERENCES

1. GOST P 50588-2012. Frothers for suppression of the fires. General technical requirements and test methods. M.: Standartinform. 2012. 24 p. (in Russian).
2. **Kazakov M.V., Petrov I.P., Raut V.Ch.** Means and ways of suppression of a flame of combustible liquids. M.: Stroyizdat. 1977. 112 p. (in Russian).
3. **Kopylov S.N., Tsarichenko S.G., Bylinkin V.A., Peshkov V.V., Arkhipov E.E., Zhidovlenkov V.V.** Order of use of frothers for suppression of the fires: Recommendations. M.: VNIPO. 2007. 59 p. (in Russian).
4. **Ivanov E.N.** Fire-prevention protection of open technological installations. M.: Khimiya. 1986. 288 c. (in Russian).
5. **Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A.** Frothers and foams for suppression of the fires. Structure, properties, application. M.: Pozhnauka. 2005. 335 c. (in Russian).
6. **Navrotsky O.D., Yemelyanov V.K., Zanevskaya Yu.V.** BY Patent MPK A 62D 1/04. 2006. (in Russian).
7. **Dykanov N.N., Baiyzulidin B.M., Sobenevsky S.K., Svetlov E.Ya., Syrtsov A.I., Turchin A.I.** RF Patent N 2110307. MPK A 62D 1/02. 1997. (in Russian).
8. **Smagin V.V.** RF Patent N 2158155 C1. MPK A 62D 1/00. 2000. (in Russian).
9. **Grishina E.P., Rumyantsev E.M.** Influence of Sulfuric Acid Concentration on the Anodic Behavior of Silver during Potentiodynamic Polarization. *Rus. J. Electrochem.* 2001. V. 37. N 4. P. 409-412. DOI: 10.1023/A:1016634208412.
10. **Belkaid S., Ladjouz M.A., Hamdani S.** Effect of biofilm on naval steel corrosion in natural seawater. *J. Solid State Electrochem.* 2011. V. 15. P. 525-537. DOI: 10.1007/s10008-010-1118-5.
11. **Zhai X., Ma X., Myamina M., Duan J., Hou B.** Electrochemical study on 4,5-dichloro-2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one-added zinc coating in phosphate buffer saline medium with Escherichia coli. *J. Solid State Electrochem.* 2015. V. 19. P. 2213-2222. DOI: 10.1007/s10008-015-2845-4.
12. **Kaluzhina S.A., Nafikova N.G.** Passivity of iron in alkaline borate media and its violation irregularity under the influence of chloride ions. *Vestn. TGU*. 2013. V. 18. N 5. P. 2290-2293 (in Russian).

Поступила в редакцию 27.07.2017

Принята к опубликованию 25.10.2017

Received 27.07.2017

Accepted 25.10.2017