

УДК 620.193

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1066-1072

ОЦЕНКА КИНЕТИКИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТАЛИ Ст3 В ПРИСУТСТВИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СУПЕРГИДРОФОБНЫХ ПОКРЫТИЙ В 0,5 М РАСТВОРЕ NaCl

© А.А. Урядников, А.А. Костякова, А.А. Камышова

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: chemisttambov@rambler.ru

Изучена кинетика коррозионных процессов в присутствии супергидрофобных покрытий на стали Ст3 в 0,5 М растворе хлорида натрия. Показано влияние наличия исследуемых пленок на стальной поверхности на кинетические параметры парциальных электродных реакций, а также на защитный эффект гидрофобных покрытий.

Ключевые слова: кинетика; сталь; растворение; композитное покрытие; катод; анод; защита; лимитирующая стадия

ВВЕДЕНИЕ

Скорость электрохимической коррозии металлов, как правило, связана с присутствием молекул воды, участвующих в парциальных электродных реакциях или образующих катионы водорода в результате процессов гидратации. Например, коррозия металлов с кислородной деполаризацией протекает в нейтральных и кислых средах соответственно с суммарными катодными реакциями:



При достаточно больших катодных потенциалах, например, в условиях катодной защиты, возможен процесс

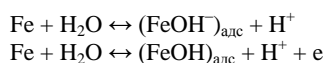


т. е. коррозия, по существу, протекает с «водной» деполаризацией. Суммарная катодная реакция в сильно-кислых средах, когда коррозия протекает с водородной деполаризацией, обычно записывается в виде:



хотя реально протон гидратирован не менее чем четырьмя молекулами воды.

Первая стадия анодной ионизации при коррозии железа, в соответствии с механизмами Хойслера [1], Бокриса [2] и Колотыркина [3], в сильноокислых средах имеет вид:



Таким образом, удаление молекул воды из сферы реакции или существенное затруднение их подвода к корродирующей поверхности металла должно вести к

резкому торможению скорости электрохимической коррозии. В силу этого, в последние 10–15 лет наблюдается большой интерес к исследованию метода антикоррозионной защиты посредством гидрофобизации ($\Theta = 115^\circ$) или супергидрофобизации (рост Θ до ~ 150 – 170° , где Θ – угол смачивания водной средой) корродирующей поверхности как в нашей стране [4–9], так и за рубежом [10–26].

При супергидрофобизации наблюдается снижение скорости коррозии от 8 [26] до 104 раз [6]. Гидрофобизацию металлических поверхностей осуществляют различными методами: нанесением фторсодержащих соединений [6–9; 13; 17–18; 24–25], каталитическим выращиванием на поверхности углеродных волокон [20], автоадсорбцией углеводородных соединений из окружающей среды [22–23].

Непосредственно для оценки скорости коррозии металлов в случае исследования защитных свойств супергидрофобных покрытий авторами используется либо метод линейного поляризационного сопротивления [19], либо экстраполяция линейных тафелевских участков поляризационных кривых на потенциал коррозии [23]. Любой из указанных подходов требует формирования ионного двойного электрического слоя (ДЭС) на границе твердое тело/раствор. Для этого необходимо соблюдение ряда условий, обусловленных следующим. Дело в том, что супергидрофобизированная поверхность твердой фазы отделена от жидкости (водный раствор) воздушной прослойкой [24], и формирование ДЭС на границе газ/жидкость невозможно, что исключает электрохимический характер коррозии в рассматриваемых условиях. В связи с этим целым рядом исследователей утверждается, что гидрофобные и супергидрофобные поверхностные пленки не являются сплошными [24–26]. Суммарная доля смоченной поверхности может достигать 10 %, а ее доля является функцией качества покрытия. Подобный подход, развиваемый в [18] на титане, схематически представлен на рис. 1.

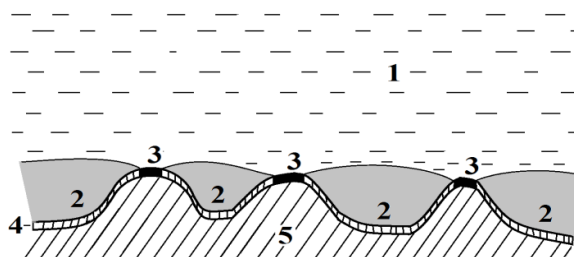


Рис. 1. Схематическое представление системы, расположенной на металлической подложке: 1 – рабочий раствор; 2 – воздушная прослойка; 3 – гидрофильные участки поверхности металла; 4 – текстурированный слой с нанослоем супергидрофобизирующего агента; 5 – металлическая подложка

Рост шероховатости поверхности способствует супергидрофобизации, ультразвуковая обработка подобного слоя снижает величину Θ за счет удаления супергидрофобизатора. Следует отметить, что предварительная деаэрация рабочего раствора электролита, согласно рис. 1, должна резко снижать эффективность защитного слоя за счет резкого стимулирования парциальных электродных реакций в отсутствие границы раздела воздух/твердое корродирующее тело. Этот вывод экспериментально подтвержден авторами [20] при коррозии цинка в 3,5 % растворе NaCl (рис. 2). Так, незащищенный цинк, согласно [20], корродирует в азрированной среде со свойственными ему кинетическими параметрами парциальных электродных процессов и скоростью саморастворения.

Целью настоящей работы явилось исследование коррозионного и электрохимического поведения углеродистой стали с супергидрофобным поверхностным слоем в нейтральном хлоридном растворе без его предварительной деаэрации.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовано электрохимическое и коррозионное поведение углеродистой стали Ст3 в 0,5 М растворе

NaCl. Сопоставлялись и характеристики трех типов образцов, армированных в оправу из отвержденной эпоксидной смолы ЭД-5: сталь без покрытия; сталь с супергидрофобным покрытием типа I и сталь с супергидрофобным покрытием типа II. Для получения покрытия типа I поверхность металла текстурировали с применением ИК лазерного излучения наносекундной длительности с последующей хемосорбцией метокси – {3 – [(2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7, 8, 8, 8 – пентадекафторооктил) – окси] – пропил} – силана из раствора в н-декане (MAF). При такой обработке толщина супергидрофобного покрытия, включающего текстурированный слой металла и адсорбированный наноразмерный слой гидрофобного агента, составляла на образцах с покрытием 1-го типа порядка 100 мкм. Для получения покрытия типа II на покрытие типа I наносили дополнительный наноразмерный композитный слой, состоящий из агрегатов наночастицаэросила, покрытых тем же гидрофобным агентом.

После хемосорбции гидрофобизатора образцы выдерживали не менее 336 часов при комнатной температуре для кросс-сшивки, протекающей в слое гидрофобного агента. Угол смачивания на исходном образце стали составлял $85,3 \pm 2,7^\circ$, на супергидрофобных образцах обоих типов – $168 \pm 1,5^\circ$. Характер исходной поверхности стали с супергидрофобным покрытием, полученный посредством сканирующего электронного микроскопа «Supra 40PV» («Zeiss», Германия) при различном разрешении, показан на рис. 2.

Для проведения поляризационных измерений в 0,5 М растворе NaCl использован потенциостат IPC-ProMF производства Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук. Потенциалы измерены относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода и пересчитаны на н.в.ш. Вспомогательный электрод – платиновый. Рабочий электрод с площадью поверхности $0,8 \text{ см}^2$ армировали в оправу из эпоксидной смолы, отвержденной полиэтиленполиамином. Все исследования проведены при комнатной температуре в азрируемых растворах в трехэлектродной ячейке с разделенными анодным и ка-

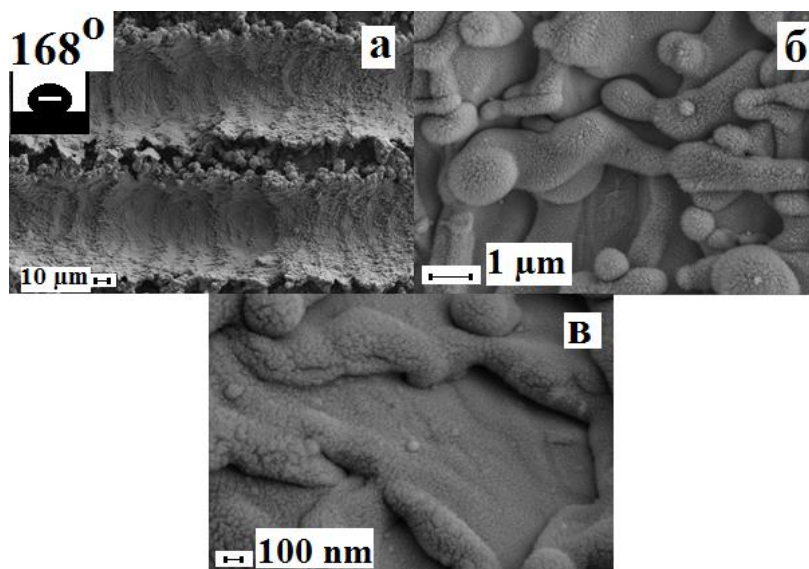


Рис. 2. SEM изображение исходной поверхности стали с супергидрофобным покрытием при различном разрешении

тодным пространствами. Использованы образцы стали Ст3 состава, масс. %: С – 0,28; Mn – 0,70; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,30; Ni – 0,20; Cu – 0,20, остальное Fe. Результаты, полученные на каждой из серий образцов стали, оговорены в тексте. Образцы перед снятием поляризационных кривых ополаскивали дистиллированной водой с удельной электропроводностью не выше $2 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ с отрицательной реакцией на катионы Ca(II) и Mg(II), титрующиеся комплексонометрическим раствором Трилона Б с индикатором эриохромом черным Т или мурексидом [29].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сразу после погружения в рабочий раствор, реальный коэффициент активности анионов хлора в котором равен 0,528, а $a_{\text{Cl}^-} \sim 0,290$ моль/л, потенциал коррозии $E_{\text{кор}}$ незащищенной стали близок к $-0,420$ В, а металл корродирует в активном состоянии с кислородной деполяризацией. Величины $dE_a/d\lg i_a$ и $dE_k/d\lg i_k$ равны, соответственно, 0,070 и 0,100 В, а скорость коррозии K , по данным экстраполяции тафелевского участка анодной ветви поляризационной кривой (ПК) на $E_{\text{кор}}$, равна $0,05 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Величина $E_{\text{кор}}$ стали с супергидрофобным покрытием (1-го типа) через 0,25 ч после погружения в рабочий раствор близка к $-0,140$ В (здесь и далее по н.в.ш) при $b_a = 0,070$ В. На катодной ветви ПК наблюдается участок предельного тока (рис. 3), который переходит в область потенциалов разряда воды (первая серия электродов).

На катодной ветви поляризационной кривой наблюдается участок предельного тока (рис. 3, кривая 2), который переходит в участок разряда молекул воды (реакция 2). Но начало этого процесса не зафиксировано. Скорость коррозии стали, полученная экстраполяцией тафелевского участка анодной ветви поляризационной кривой на $E_{\text{кор}}$, равна $0,009 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Следовательно, на начальном этапе коррозионного воздействия скорость коррозии стали с супергидрофобизированной поверхностью по сравнению с незащищенным метал-

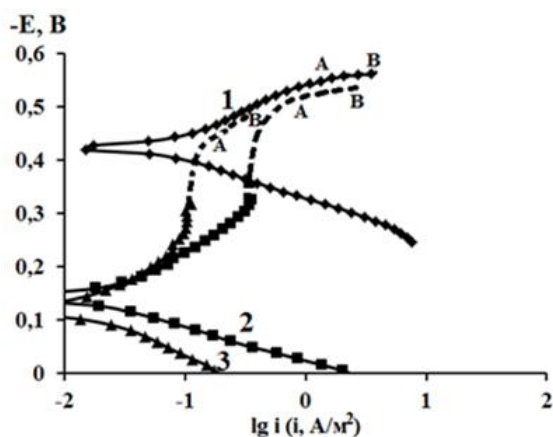


Рис. 3. Поляризационные кривые стали через 0,25 ч после погружения в 0,5 М растворе NaCl. Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – образцы 1-й серии; 3 – образцы 2-й серии. Здесь и далее поляризационные кривые сняты при комнатной температуре в аэрируемых растворах на неподвижном электроде

лом понижена в 60 раз (γ), где γ – коэффициент торможения, равный:

$$\gamma = K_0/K_r,$$

а K_0 и K_r – соответственно, скорости коррозии незащищенной стали и ее же с супергидрофобизированным покрытием.

Потенциал коррозии образцов стали с покрытием 2-го типа более положителен, чем в первом случае, и составляет $\sim -0,120$ В. Одновременно несколько снижается скорость анодной реакции и практически не меняется катодной (рис. 3, кривая 3). Немного уменьшается и ток коррозии. Величины γ для обоих типов защитных покрытий близки в пределах ошибки эксперимента, анодный тафелевский наклон составляет $\sim 0,070$ В, но резко (до $9 \text{ мкА}/\text{см}^2$) снижается плотность предельного катодного тока. После 24-часовой выдержки гидрофобизированных электродов в той же коррозионной среде картина существенно изменяется (рис. 4).

Потенциал коррозии стали с супергидрофобизированным покрытием (независимо от способа его нанесения) резко снижается, составляя $\sim -0,480$ В ($\Delta E_{\text{кор}}$ составляет по сравнению с исходной незащищенной сталью порядка 0,080 В, $E_{\text{кор}}$ которой практически не изменяется ($\sim -0,400$ В, рис. 4, кривая 1)).

Отметим, что на катодной поляризационной кривой незащищенной стали появляется участок АВ, видимо, соответствующий разряду воды по реакции (2), в который переходит участок предельного катодного тока.

На катодных ветвях поляризационных кривых стали с защитным покрытием участки предельного тока отсутствуют, но появляется область АВ, как и в случае кривой 1 рис. 4. Видимо, в этой области, начиная с потенциала E_A , параллельно протекают суммарные катодные реакции (1) и (2), т. е., помимо кислородной, появляется и «водная» деполяризация. Величина катодного тафелевского наклона снижается до 0,040 В (рис. 4, кривые 2 и 3).

На стальном электроде с покрытием 2-го типа картина остается прежней (рис. 4, кривые 2 и 3). Не изменяются и величины b_a и $E_{\text{кор}}$ ($-0,480$ В). Плотность тока

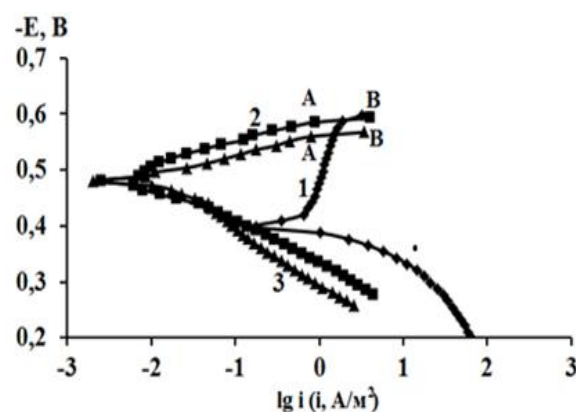


Рис. 4. Поляризационные кривые стали в 0,5 М растворе NaCl после 24-часового воздействия коррозионной среды. Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – образцы 1-й серии; 3 – образцы 2-й серии

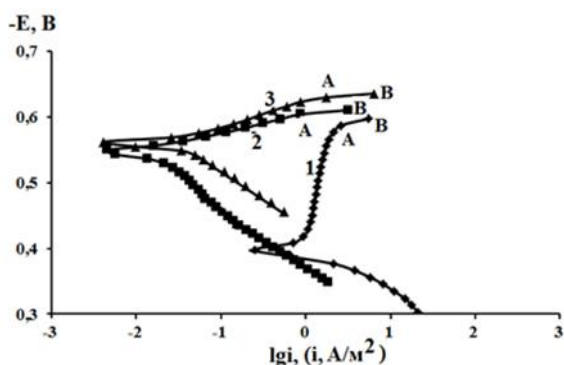


Рис. 5. Поляризационные кривые стали в 0,5 М растворе NaCl после 48 ч воздействия коррозионной среды. Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – образцы 1-й серии; 3 – образцы 2-й серии

коррозии стали в пределах ошибки эксперимента в присутствии обоих типов супергидрофобного покрытия одинакова и составляет порядка $0,01 \text{ A/m}^2$ (в расчете на видимую поверхность), в то время как K незащищенной стали близка к $1,20 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$. Следовательно, величина $\gamma = 120$. Отметим, что столь высокая величина γ достигается за счет торможения как катодной, так и анодной реакций, но скорость катодного процесса лимитирует процесс коррозии в целом.

Рост продолжительности коррозионного воздействия среды *insitu* вдвое (48 ч) не изменяет качественной картины (рис. 5).

Лишь потенциал коррозии стали в обеих сериях $E_{\text{кор}}$ становится еще более отрицательным, составляя порядка $-0,550 \text{ В}$ за счет усиливающегося торможения реакции (1). Величина γ – 106 (1-й тип покрытия) и 81 (2-й тип супергидрофобного покрытия). При этом существенно возрастает скорость коррозии незащищенной стали, составляя $2,23 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$. Величина b_a стали с супергидрофобным покрытием возрастает до $0,095 \text{ В}$ (рис. 5).

Некоторые количественные изменения наблюдаются на анодных ветвях поляризационных кривых стали с защитным покрытием при последующем росте продолжительности воздействия среды (*insitu*) (рис. 6).

Через 72 ч переход от незащищенной стали к металлу с защитным покрытием (1-й тип) ведет к снижению величины γ до 23 ± 3 , которая к этому времени для обеих серий электродов становится примерно одинаковой.

В области $E_{\text{кор}}$ защищенная сталь корродирует в активном состоянии (рис. 6, кривая 2), а скорость ее анодной реакции по-прежнему повышена по сравнению с металлом в отсутствие покрытия. Величина b_a близка к $0,04 \text{ В}$ (рис. 6, кривая 2). Но при анодном потенциале E порядка $-0,57 \text{ В}$ (ΔE равно $0,03 \text{ В}$ от $E_{\text{кор}}$) достигается потенциал пассивации металла (образцы 2-й серии).

Одновременно наблюдается небольшой максимум пассивации и далее сталь корродирует (при $E_a > E_{\text{пас}}$) в пассивном состоянии (до потенциала E_c).

При достижении в процессе анодной поляризации потенциала точки С (E_c) происходит перепассивация либо пробой пассивного состояния (этот вопрос специально не изучался, т. к. для характеристики коррозионного поведения стали он не представляет интереса). Характер же катодной ветви поляризационной кривой

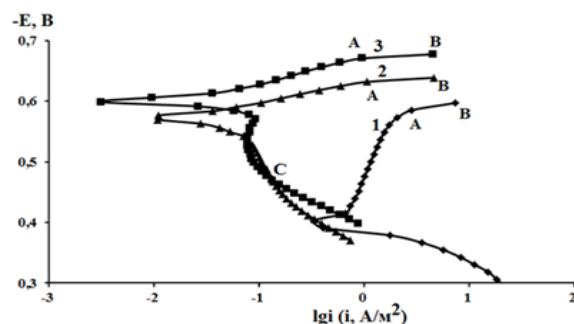


Рис. 6. Поляризационные кривые стали в 0,5 М растворе NaCl после 72 ч воздействия коррозионной среды. Гидрофобизация: 1 – отсутствует; 2 – образцы 1-й серии; 3 – образцы 2-й серии

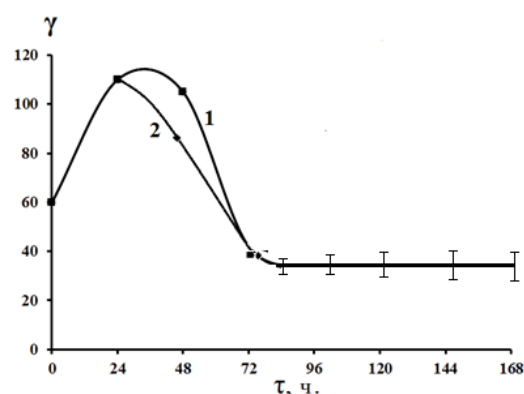


Рис. 7. Зависимость защитного действия гидрофобизированного покрытия от продолжительности коррозионного воздействия 0,5 М раствора NaCl. 1 – образцы 1-й серии; 2 – образцы 2-й серии

остается прежним (кривые 3, рис. 5 и 6). На рис. 7 приведена зависимость величины γ от продолжительности коррозионного воздействия среды.

ВЫВОДЫ

1. При коррозии углеродистой стали с супергидрофобным покрытием MAF в 0,5 М растворе NaCl (исходный краевой угол смачивания $168,0 \pm 1,5^\circ$) стационарное состояние достигается за 72 ч. На начальном этапе коррозии (0,25 ч) процесс контролируется кинетикой анодной реакции, а ее скорость понижена в 60 раз по сравнению с незащищенной сталью.

2. Через 24 ч воздействия среды $E_{\text{кор}}$ защищенной посредством MAF стали снижается до $-0,480 \text{ В}$ за счет торможения катодного процесса, который становится контролирующим, а величина γ приближается к 120.

3. При достижении системой стационарного состояния γ составляет 23, сталь корродирует в активном состоянии с катодным контролем, признаки пассивации вблизи $E_{\text{кор}}$ отсутствуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heusler K.E. Der Einfluß der Wissenstoffionen konzentrations auf das elektrochemische Verhalten des aktiven Eisen in Säuren Lösungen // Z. Electrochemie. 1958. В. 52. № 5. S. 582-587.

2. *Bockris J.O'M., Drazic D., Despic A.K.* The Electrode Kinetics of the Dissolution and Deposition of Iron // *Electrochim. Acta.* 1961. V. 4. № 5. P. 325-361.
3. *Florionovich G.M., Sokolova L.A., Kolotyrykin Ya.M.* On the mechanism of the anodic dissolution of Iron in acid solutions // *Electrochim. Acta.* 1967. V. 12. № 7. P. 879-887.
4. *Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М.* Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства, применения // *Успехи химии.* 2008. Т. 77. № 7. С. 619-638.
5. *Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б.* Анализ смачивания как эффективный метод изменения характеристик покрытий, поверхностей и происходящих на них процессов // Заводская лаборатория. Диагностика металлов. 2010. Т. 76. С. 27-36.
6. *Boinovich L.B., Gnedenkov S.V., Alpyysbaeva D.A., Egorkin V.S., Emelyanenko A.M., Sinebryukhov S.L., Zaretskaya A.K.* Corrosion resistance of composite coating on low-carbon steel containing hydrophobic and superhydrophobic layers in combination with oxide sublayers // *Corr. Sci.* 2012. V. 55. P. 238-245.
7. *Boinovich L.B., Emelyanenko A.M., Modestov A.D., Domantovsky A.G., Emelyanenko K.A.* Synergistic Effect of Superhydrophobicity and Oxidized Layers on Corrosion Resistance of Aluminum Alloy Surface Textured by Nanosecond Laser Treatment // *ACS Applied Materials and Interfaces.* 2015. V. 7 (34). P. 19500-19508.
8. *Boinovich L.B., Emelyanenko A.M.* The behaviour of fluoro- and hydrocarbon surfactants used for fabrication of superhydrophobic coatings at solid/water interface // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2015. V. 481. P. 167-175.
9. *Альпсбаева Д.А., Вершук Д.Б., Емельяненко А.М., Батищев О.В., Кузнецов Ю.И., Бойнович Л.Б.* Супергидрофобизация низкоуглеродистой стали с конверсионными покрытиями // *Коррозия: материалы и защита.* 2013. № 8. С. 42-47.
10. *Barkhudarov P.M., Shah P.B., Watkins E.B., Doshi D.A., Brinker C.J., Majewski J.* Corrosion inhibition using superhydrophobic films // *Corr. Sci.* 2008. V. 50. P. 897-902.
11. *Xu Q.F., Wang J.N.* A Superhydrophobic coating on aluminium foil with an anti-corrosive property // *New J. Chem.* 2009. V. 33. P. 734-738.
12. *He T., Wang Y.C., Zhang Y.J., Lv Q., Xu T.G., Liu T.* Superhydrophobic surface treatment as corrosion protection for aluminum in seawater // *Corr. Sci.* 2009. V. 51. P. 1757-1761.
13. *Ishizaki T., Hiedi J., Saito N., Saito N., Takai O.* Corrosion resistance and chemical stability of superhydrophobic film deposited on magnesium alloy AZ31 by microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition // *Electrochim. Acta.* 2010. V. 55. P. 7094-7101.
14. *Liu T., Dong L.H., Liu T., Zin Y.S.* Investigations on reducing microbially influenced corrosion of aluminum by using superhydrophobic surfaces // *Electrochim. Acta.* 2010. V. 55. P. 5281-5285.
15. *Li X., Shen J.* A facile two-step dipping process based on two silica systems for a superhydrophobic surface // *Chemical Communications.* 2011. V. 47. P. 10761-10763.
16. *Wang J.P., Zhang D., Qiu R., Hou B.R.* Superhydrophobic film prepared on zinc as corrosion barrier // *Corros. Sci.* 2011. V. 53. P. 2080-2086.
17. *He Z., Ma M., Xu X., Wang J., Chen F., Deng H., Wang K., Zhang Q., Fu Q.* Fabrication of superhydrophobic coating via a facile and versatile method based on nanoparticle aggregates // *Applied Surface Science.* 2012. V. 258. P. 2544-2550.
18. *Ejnstam L., Ovaskainen L., Rodriguez-Meizoso I., Wagberg L., Pan J., Serin A., Claesson P.M.* The effect of superhydrophobic wetting state on corrosion protection – The AKD example // *J. Colloid and Interface Science.* 2013. V. 412. P. 56-64.
19. *Yu D., Tian J., Dai J., Wang X.* Corrosion resistance of three-layer superhydrophobic composite coating on carbon steel in sea water // *Electrochim. Acta.* 2013. V. 55. P. 409-419.
20. *Qiu R., Zhang D., Wang P.* Superhydrophobic carbon fibre growth on a zinc surface for corrosion inhibition // *Corr. Sci.* 2013. V. 66. P. 350-359.
21. *Huang Y., Sarkar D.K., Gollant D., Chen X.G.* Corrosion resistance properties of superhydrophobic copper surface fabricated by one-step electrochemical modification process // *Applied Surface Science.* 2013. V. 282. P. 689-694.
22. *Khorsand S., Raeissi K., Ashrafizadeh F.* Corrosion resistance and long-term durability of superhydrophobic nickel film prepared by electrodeposition process // *Applied Surface Science.* 2014. V. 305. P. 498-505.
23. *Cheng Y., Lu S., Xu W., Wen H.* Fabrication of Au-AlAu4-Al2O3 superhydrophobic surface and its corrosion resistance // *RSC Advances.* 2015. V. 5. P. 15387-15394.
24. *Ou J., Liu M., Li W., Xue M., Li C.* Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces of Ti alloys in NaCl solutions // *Applied Surface Science.* 2012. V. 258. P. 4724-4728.
25. *Lu Z., Wang P., Zhang D.* Superhydrophobic film fabricated on aluminium surface as barrier to atmospheric corrosion in a marine environment // *Corrosion Science.* 2015. V. 258. P. 287-296.
26. *Lu D., Ou J., Xue M., Wang F.* Stability and corrosion resistance of superhydrophobic surface on oxidized aluminum in NaCl aqueous solution // *Applied Surface Science.* 2015. V. 333. P. 163-169.
27. *Оммо М.* Современные методы аналитической химии / под ред. А.В. Гармаша. М.: Техносфера, 2008. 544 с.
28. *Рабинович В.А.* Термодинамическая активность ионов в растворах электролитов. Л.: Химия, 1985. 176 с.

Поступила в редакцию 24 мая 2016 г.

Урядников Александр Алексеевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, инженер ЦКП «Нанохимия и экология», e-mail: chemisttambov@rambler.ru

Костякова Анна Алексеевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра химии и экологической безопасности, e-mail: anya.kostyakova2014@yandex.ru

Камышова Анастасия Алексеевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Электрохимия», химическое отделение Института математики, естественных и информационных технологий, e-mail: anastasiia.kamyshova@mail.ru

UDC 620.193

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1066-1072

EVALUATION OF THE KINETICS OF CORROSION PROCESSES ON THE STEEL St3 IN THE PRESENCE OF SUPERHYDROPHOBIC NANOCOMPOSITE COATINGS 0.5 M SOLUTION NaCl

© A.A. Uryadnikov, A.A. Kostyakova, A.A. Kamyshova

Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: chemisttambov@rambler.ru

The kinetics of corrosion processes in the presence of superhydrophobic coatings on steel St3 in 0.5 M sodium chloride solution. The influence of the presence of the test films on the steel surface on the kinetic parameters of the partial electrode reactions, as well as the protective effect of the hydrophobic coating.

Keywords: kinetics; steel; dissolution; composite coating; cathode; anode; protection; limiting stage

REFERENCES

1. Heusler K.E. Der Einfluss der Wissenstoffionen konzetratation auf das elektrochemische Ver haltung des aktiven Eisen in Säuren Losungen. *Z. Electrochemie*, 1958, vol. 52, no. 5, pp. 582-587. (In German).
2. Bockris J.O' M., Drazic D, Despic A.K. The Electrode Kinetics of the Dissolution and Depostionof Iron. *Electrochim. Acta*, 1961, vol. 4, no. 5, pp. 325-361.
3. Florianovich G.M., Sokolova L.A., Kolotyркиn Ya.M. On the mechanism of the anodic dissolution of Iron in acid solutions. *Electrochim. Asta*, 1967, vol. 12, no. 7, pp. 879-887.
4. Boynovich L.B., Emel'yanenko A.M. Gidrofobnye materialy i pokrytiya: printsipy sozdaniya, svoystva, primeneniya [Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications]. *Uspekhi khimii – Russian Chemical Reviews*, 2008, vol. 77, no. 7, pp. 619-638. (In Russian).
5. Emel'yanenko A.M., Boynovich L.B. Analiz smachivaniya kak effektivnyy metod izmeneniya kharakteristik pokrytiy, poverkhnostey i proiskhodyashchikh na nikh protsessov [Analysis of the wetting an effective method for studying the characteristics of coatings, surfaces, and surface processes]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov – Industrial Laboratory. Materials Diagnostics*, 2010, vol. 76, pp. 27-36. (In Russian).
6. Boinovich L.B., Gnedenkov S.V., Alpysbaeva D.A., Egorkin V.S., Emelyanenko A.M., Sinebryukhov S.L., Zaretskaya A.K. Corrosion resistance of composite coating on bow-carbon steel containing hydrophobic and superhydrophobic layers in combination with oxide sublayers. *Corr. Sci.*, 2012, vol. 55, pp. 238-245.
7. Boinovich L.B., Emelyanenko A.M., Modestov A.D., Domantovsky A.G., Emelyanenko K.A. Synergistic Effect of Superhydrophobicity and Oxidized Layers on Corrosion Resistance of Aluminum Alloy Surface Textured by Nanosecond Laser Treatment. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2015, vol. 7 (34), pp. 19500-19508.
8. Boinovich L.B., Emelyanenko A.M. The behaviour of fluoro- and hydrocarbon surfactants used for fabrication of superhydrophobic coatings at solid/water interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2015, vol. 481, pp. 167-175.
9. Alpysbaeva D.A., Vershok D.B., Emel'yanenko A.M., Batishchev O.V., Kuznetsov Yu.I., Boynovich L.B. Supergidrofo-bizatsiya nizkouglerodisty stali s konversionnymi pokrytiami [Superhydrophobization of mild steel with chemical conversion coating]. *Korroziya: materialy i zashchita – Corrosion: Materials, Protection*, 2013, no. 8, pp. 42-47. (In Russian).
10. Barkhudarov P.M., Shah P.B., Watkins E.B., Doshi D.A., Brinker C.J., Majewski J. Corrosion inhibition using superhydrophobic films. *Corr. Sci.*, 2008, vol. 50, pp. 897-902.
11. Xu Q.F., Wang J.N. A Superhydrophobic coating on aluminium foil with an anti – corrosive property. *New J. Chem.*, 2009, vol. 33, pp. 734-738.
12. Ne T., Wang Y.C., Zhang Y.J., Lv Q. Xu T.G., Liu T. Superhydrophobic surface treatment as corrosion protection for aluminum in seawater. *Corr. Sci.*, 2009, vol. 51, pp. 1757-1761.
13. Ishizaki T., Hiedi J., Saito N., Saito N., Takai O. Corrosion resistance and chemical stability of superhydrophobic film deposited on magnesium alloy AZ31 by microware plasma – enhanced chemical vapor deposition. *Electrochim. Acta*, 2010, vol. 55, pp. 7094-7101.
14. Liu T., Dong L.H., Liu T., Zin Y.S. Investigations on reducing microbiologically influenced corrosion of aluminum by using superhydrophobic surfaces. *Electrochim. Acta*, 2010, vol. 55, pp. 5281-5285.
15. Li X., Shen J. A facile two-step dipping process based on two silica systems for a superhydrophobic surface. *Chemical Communications*, 2011, vol. 47, pp. 10761-10763.
16. Wang J.P., Zhang D., Qiu R., Hou B.R. Superhydrophobic film prepared on zinc as corrosion barrier. *Corros. Sci.*, 2011, vol. 53, pp. 2080-2086.
17. He Z., Ma M., Xu X., Wang J., Chen F., Deng H., Wang K., Zhang Q., Fu Q. Fabrication of superhydrophobic coating via a facile and versatile method based on nanoparticle aggregates. *Applied Surface Science*, 2012, vol. 258, pp. 2544-2550.
18. Ejenstam L., Ovaskainen L., Rodriguez- Meizoso I., Wagberg L., Pan J., Serin A., Claesson P.M. The effect of superhydrophobic wetting state on corrosion protection – The AKD example. *J. Colloid and Interface Science*, 2013, vol. 412, pp. 56-64.

19. Yu D., Tian J., Dai J., Wang X. Corrosion resistance of three – layer superhydrophobic composite coating on carbon steel in sea water. *Electrochim. Acta*, 2013, vol. 55, pp. 409-419.
20. Qiu R., Zhang D., Wang P. Superhydrophobic carbon fibre growth on a zinc surface for corrosion inhibition. *Corr. Sci.*, 2013, vol. 66, pp. 350-359.
21. Huang Y., Sarkar D.K., Gollant D., Chen X.G. Corrosion resistance properties of superhydrophobic copper surface fabricated by one – step electrochemical modification process. *Applied Surface Science*, 2013, vol. 282, pp. 689-694.
22. Khorsand S., Raeissi K., Ashrafizadeh F. Corrosion resistance and long-term durability of superhydrophobic nickel film prepared by electrodeposition process. *Applied Surface Science*, 2014, vol. 305, pp. 498-505.
23. Cheng Y., Lu S., Xu W., Wen H. Fabrication of Au-AlAu4-Al2O3 superhydrophobic surface and its corrosion resistance. *RSC Advances*, 2015, vol. 5, pp. 15387-15394.
24. Ou J., Liu M., Li W., Xue M., Li C. Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces of Ti alloys in NaCl solutions. *Applied Surface Science*, 2012, vol. 258, pp. 4724-4728.
25. Lu Z., Wang P., Zhang D. Superhydrophobic film fabricated on aluminium surface as barrier to atmospheric corrosion in a marine environment. *Corrosion Science*, 2015, vol. 258, pp. 287-296.
26. Lu D., Ou J., Xue M., Wang F. Stability and corrosion resistance of superhydrophobic surface on oxidized aluminum in NaCl aqueous solution. *Applied Surface Science*, 2015, vol. 333, pp. 163-169.
27. Otto M. *Sovremennye metody analiticheskoy khimii* [Modern Methods of Analytical Chemistry], ed. A.V. Garmash. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2008. 544 p. (In Russian).
28. Rabinovich V.A. *Termodinamicheskaya aktivnost' ionov v rastvorakh elektrolitov* [Thermodynamic Activity of Ions in Electrolytic Solution]. Leningrad, Khimiya Publ., 1985. 176 p. (In Russian).

Received 24 May 2016

Uryadnikov Alexandr Alekseevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Engineer of CUC “Nanochemistry and Ecology”, e-mail: chemisttambov@rambler.ru

Kostyakova Anna Alekseevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, Chemistry and Ecological Security Department, e-mail: anya.kostyakova2014@yandex.ru

Kamyshova Anastasiya Alekseevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Master’s Degree Student on Training Direction “Electric chemistry”, Chemical Department of Mathematics, Natural Sciences and Information Technology Institute, e-mail: anastasiia.kamyshova@mail.ru

Для цитирования: Урядников А.А., Костякова А.А., Камышова А.А. Оценка кинетики коррозионных процессов на стали Ст3 в присутствии нанокompозитных супергидрофобных покрытий в 0,5 М растворе NaCl // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1066-1072. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1066-1072

For citation: Uryadnikov A.A., Kostyakova A.A., Kamyshova A.A. Otsenka kinetiki korrozionnykh protsessov na stali St3 v prisutstvii nanokompozitnykh supergidrofobnykh pokrytiy v 0,5 M rastvore NaCl [Evaluation of the kinetics of corrosion processes on the steel St3 in the presence of superhydrophobic nanocomposite coatings 0.5 M solution NaCl]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1066-1072. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1066-1072 (In Russian, Abstr. in Engl.).