

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.5.10>

УДК 620.193

ОСАДЧУК С. А.¹, НЫРКОВА Л. И.¹, ФАТЕЕВ Ю. Ф.²

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

² Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

ОСОБЕННОСТИ КАТОДНЫХ И АНОДНЫХ РЕАКЦИЙ НА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ В НЕЙТРАЛЬНЫЙ РАСТВОР

Цель. Исследование влияния глубины погружения образцов на скорость коррозии стали Ст3 в 3 % растворе NaCl.

Методика. Моделирование атмосферной коррозии (влажной и мокрой) проводили погружением образца стали Ст3 размером (50×10×2) мм в нейтральный раствор 3 % NaCl на разную глубину. Подведением нижней границы рабочей поверхности образца до уровня раствора (около 0 мм) моделировали влажную коррозию, погружением на глубину 2 мм (до верхней границы) – мокрую коррозию, на 10 мм от верхней границы – объем электролита. Разработанный метод позволил проводить электрохимические исследования методом поляризационных кривых. Поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала $5 \cdot 10^{-4}$ В/с. Рабочим электродом служил образец из стали Ст3 размером (10×50×2) мм. На образце выделяли рабочую поверхность (10×2) мм, остальную часть поверхности изолировали неэлектропроводным лаком.

Результаты. Представлены результаты исследования влияния глубины погружения образцов в раствор электролита на скорость коррозии стали Ст3. Погружение образцов в 3 % раствор хлорида натрия на глубину от 0 до 10 мм позволило смоделировать условия влажной и мокрой атмосферной коррозии металла. На основе определения скорости частных электродных реакций, протекающих на электроде, было установлено, что скорость коррозии стали Ст3 определяется величиной предельного диффузионного тока. Показано, что с уменьшением глубины погружения величина предельного тока увеличивается примерно в четыре раза. Установлено, что скорость катодной реакции зависит, как от градиента концентрации кислорода в слоях раствора, находящихся на разном расстоянии от границы раствор/воздух, так и от скорости его диффузии к поверхности металла. Поскольку метод поляризационного сопротивления позволяет измерять токи, более низкие, чем токи восстановления кислорода в тонких пленках раствора, его можно использовать для оценки скорости атмосферной коррозии стали.

Научная новизна. На основе моделирования влажной и мокрой коррозии установлено влияние изменения глубины погружения образцов на скорость катодной реакции на стали Ст3 в 3 % растворе хлорида натрия. При уменьшении глубины погружения от 10 до 0 мм плотность катодного (предельного диффузионного) тока увеличивается от 0,51 до 2 А/м².

Практическая значимость. Предложенный метод моделирования атмосферной коррозии можно использовать для электрохимических исследований в тонких пленках влаги разной толщины, образующихся на поверхности образцов металлов и электродов датчиков. Показана возможность применения метода поляризационного сопротивления в атмосферных условиях.

Ключевые слова: стальные металлоконструкции, тонкая пленка влаги, диффузионный контроль, метод поляризационных кривых, метод поляризационного сопротивления, атмосферная коррозия.

Вступление. Атмосферная коррозия – процесс разрушения металлов и сплавов, возникающий при протекании на его поверхности электрохимических и химических реакций. Атмосферную коррозию можно классифицировать по степени увлажнения металлической поверхности: сухую, влажную и мокрую [1]. Скорость процесса зависит от влажности воздуха, загрязнения атмосферы, гигроскопичности продуктов коррозии [2, 3].

Влажная атмосферная коррозия протекает по электрохимическому механизму при относительной влажности менее 100 % при наличии на поверхности металлов тонких пленок влаги. Мокрая коррозия по механизму схожа с электрохимической коррозией при полном погружении металла в электролит, протекает при относительной влажности около 100 %, когда возможна капельная конденсация или непосредственное увлажнение поверхности металла (дождь, брызги морской или речной воды) [1].

Для контроля коррозии промышленных атмосфер, применяют методы массометрии, поляризационного сопротивления и резистивный. Преимуществом метода поляризационного сопротивления является возможность контроля коррозионности сред в реальном времени. Чувствительность метода определяется чувствительностью датчиков [4]. Для оценки применимости метода поляризационного сопротивления с использованием соответствующих датчиков в атмосферных условиях необходимо изучить особенности коррозии в атмосфере.

Особенности атмосферной коррозии в настоящее время исследованы достаточно широко и, тем не менее, продолжают интенсивно изучаться [5, 6]. Это связано с огромными потерями металла, обусловленными разрушением металлоконструкций под воздействием атмосферных условий.

Поскольку атмосферная коррозия протекает в тонких пленках влаги, толщина которых может изменяться от нескольких монослоев молекул воды до фазовых пленок в десятки и сотни микрон [1], несомненный интерес представляет исследование процессов, протекающих в этих условиях.

Под тонкими пленками влаги скорость атмосферной коррозии металлов и их сварных соединений в значительной степени определяется соотношением скорости парциальных катодной и анодной реакций, которые, в свою очередь, зависят от степени увлажнения поверхности.

При увеличении степени увлажнения поверхности скорость коррозии сначала возрастает, и процесс протекает в адсорбционных пленках влаги. При дальнейшем росте толщины пленки, сопровождающимся образованием фазовых пленок – уменьшается [1]. Такое изменение скорости коррозии обусловлено тем, что в пленках толщиной не более 10 мкм контролирующей стадией является анодное растворение металла, более 10 мкм – восстановление кислорода. Поэтому исследование влияния толщины пленок на соотношение скоростей катодной и анодной реакций и определения скорости атмосферной коррозии является актуальной задачей, решение которой позволит установить предел чувствительности датчиков поляризационного сопротивления в атмосферных условиях.

Постановка задачи. Целью данной работы являлось исследование влияния глубины погружения образцов, что позволило смоделировать толщину слоя влаги на поверхности, на скорость коррозии стали Ст3 в 3 % растворе NaCl.

Методика эксперимента. В этой статье представлен разработанный метод моделирования атмосферной коррозии, позволяющий проводить электрохимические исследования методом поляризационных кривых. Рабочим электродом служил образец из стали Ст3 размером (10×50×2) мм. На образце выделяли рабочую поверхность (10×2) мм, остальную часть поверхности изолировали неэлектропроводным лаком, рис. 1.

Различные виды атмосферной коррозии (влажную, мокрую) моделировали погружением образца стали Ст3 размером (50×10×2) мм в раствор 3 % NaCl на разную

глубину, рис. 1. Подведением нижней границы рабочей поверхности образца до уровня раствора (около 0 мм), рис. 1, а, моделировали влажную коррозию, погружением на глубину 2 мм (до верхней границы) – мокрую коррозию, рис. 1, б. Для сравнения исследования проводили в объеме электролита погружением образца в раствор на глубину 10 мм от верхней границы, рис. 1, в.

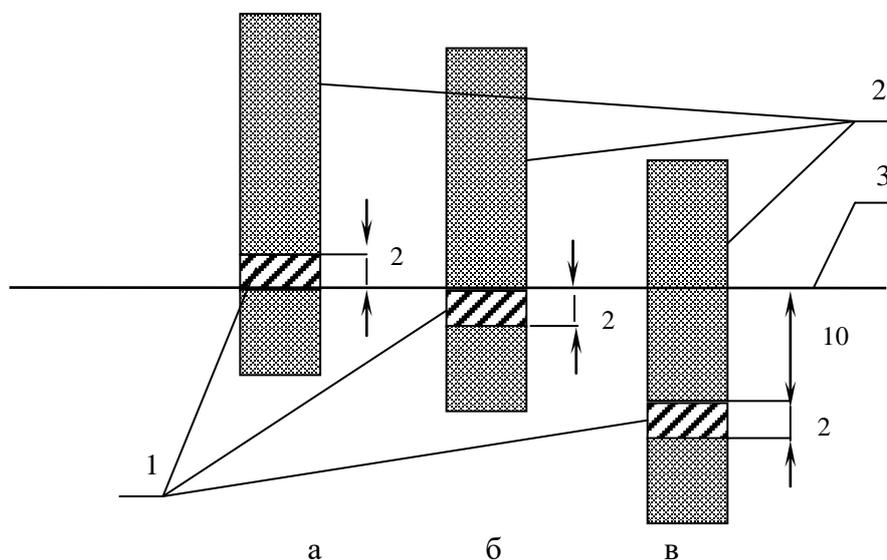


Рис. 1. Схема погружения образцов в раствор 3 % NaCl:

а – до нижней границы рабочей поверхности; б – до верхней границы рабочей поверхности; в – на 10 мм выше верхней границы рабочей поверхности; 1 – рабочая поверхность; 2 – изолированная поверхность; 3 – уровень раствора

Поляризационные кривые снимали в растворе 3 % NaCl с помощью потенциостата ПИ-50-1.1 и программатора ПР-8 в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала $5 \cdot 10^{-4}$ В/с. Рабочим электродом служил образец из стали Ст3 описанный выше. Образцы выдерживали в растворе в течение 1 часа до установления стационарного значения потенциала коррозии. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, заполненный насыщенным раствором KCl, в качестве вспомогательного – платиновый. Результаты исследований представляли в полулогарифмических координатах $\langle \lg i - E \rangle$, где i – плотность тока, E – потенциал (относительно хлорсеребряного электрода сравнения).

Результаты исследования. Потенциал коррозии, при глубине погружения электрода 0, 2 и 10 мм составлял -0,51, -0,55 и -0,56 В, соответственно, т.е. при увеличении глубины погружения создавались более благоприятные условия для растворения стали. Токи (скорости) коррозии, рассчитанные экстраполяцией поляризационных кривых составляли 0,3, 0,08, 0,1 А/м² для глубины погружения образца (0, 2, 10 мм), табл. 1.

На рис. 2 представлены поляризационные кривые стали Ст3.

Из анализа кривых видно, что при всех глубинах погружения анодный процесс протекает со значительно большей скоростью, чем катодный, рис. 2. При увеличении глубины погружения увеличивается скорость анодного процесса и уменьшается скорость

катодного. Для количественного сравнения их скоростей анализировали плотность тока при поляризации $\pm 0,11$ В.

Из экспериментальных данных (рис. 2 и табл. 1) следует, что при катодной поляризации 0,11 В при погружении образцов на глубину 0, 2, 10 мм плотность катодного тока уменьшалась и составляла 0,71 А/м² (кривая 1), 0,65 А/м² (кривая 2), 0,45 А/м² (кривая 3), соответственно.

Плотность анодного тока при анодной поляризации 0,11 В при таком же погружении наоборот возросла и составляла 3,81 А/м² (кривая 1'), 3,57 А/м² (кривая 2'), 5,79 А/м² (кривая 3'), соответственно.

При глубине погружения 0, 2, 10 мм соотношение плотностей тока при поляризации $\pm 0,11$ В составляло, соответственно, 0,19, 0,18 и 0,08, что указывало на возможное изменение контролирующей стадии процесса коррозии – переход катодного контроля в анодный.

Таблица 1.

Электрохимические характеристики Ст3 в растворе 3 % NaCl

Наименование показателя	Глубина погружения образцов, мм		
	0	2	10
Потенциал коррозии, В	-0,51	-0,55	-0,56
Ток (скорость) коррозии, А/м ²	0,3	0,08	0,1
Плотность катодного тока при поляризации 0,11 В, А/м ²	0,71	0,65	0,45
Предельный диффузионный ток, А/м ²	2,07	1,13	0,51
Предельный диффузионный ток, А/м ² (рассчитанный)	1,9*	0,19**	0,19**
Плотность анодного тока при поляризации 0,11 В, А/м ²	3,81	3,57	5,79
Соотношение плотностей катодного и анодного токов при поляризации $\pm 0,11$ В	0,19	0,18	0,08
При расчетах толщину диффузионного слоя в тонкой пленке влаги принимали равной 100 мкм*, в объеме раствора – 1000 мкм** [7].			

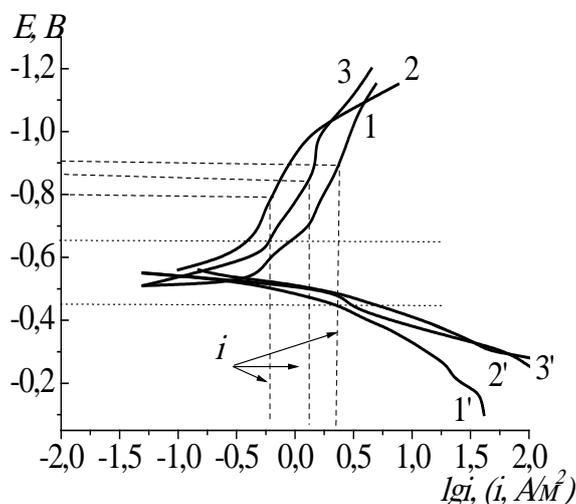


Рис. 2. Катодные (1-3) и анодные (1'-3') поляризационные кривые в 3 % NaCl на стали Ст3 при различной глубине погружения образца: 1, 1' – 0 мм; 2, 2' – 2 мм; 3, 3' – 10 мм

На катодных кривых можно выделить область предельного тока восстановления кислорода (предельного диффузионного). Значения плотности предельных диффузионных токов, определенных из катодных поляризационных кривых, при погружении образцов на указанную выше глубину составляли около 2,0, 1,1, 0,51 А/м², соответственно.

Таким образом, величина предельного диффузионного тока с уменьшением глубины погружения увеличивалась от 0,51 до 2 А/м², что почти в четыре раза больше плотности тока восстановления кислорода в объеме раствора.

Для сопоставления экспериментальных результатов с данными других исследователей рассчитывали предельный диффузионный ток на основе первого закона Фика, в соответствии с которым скорость восстановления кислорода прямо пропорциональна его количеству, диффундирующему через слой воды [7]:

$$j_D = nFD \frac{C_0}{\delta}, \quad (1)$$

где j_D – предельный ток восстановления кислорода, А/см²;

n – количество электронов, 4;

F – число Фарадея, 96500 А·с/моль;

D – коэффициент диффузии кислорода, $1,96 \cdot 10^{-5}$ см²/с при 18 °С;

C_0 – концентрация кислорода в растворе 3 % NaCl, равная $2,5 \cdot 10^{-7}$ моль/см³ при 25 °С и 1 атм [7];

δ – толщина диффузионного слоя, см.

Из литературы известно, что толщина диффузионного слоя находится в пределах от 10 до 1000 мкм [7]. При толщине влажной пленки 70 мкм толщина диффузионного слоя составляет около 85 % (59,6 мкм), при толщине 30 мкм – около 100 %, а коррозионные процессы в таких пленках протекают со скоростью 2,7 и 6,4 А/м², соответственно [1]. То есть в пленках толщиной не более 30 мкм перенос кислорода будет осуществляться только по диффузному механизму. С увеличением толщины слоя влаги до значений, сопоставимых с объемом электролита – 650 мкм, толщина диффузионного слоя, рассчитанного, и полученного в процессе исследований [1] отличается примерно в 5 раз. В результате проведенных нами расчетов показано, что с уменьшением толщины слоя влаги величина рассчитанного предельного диффузионного тока увеличивается от 0,19 до 1,9 А/м², что почти на порядок больше плотности тока восстановления кислорода в объеме раствора, табл. 1.

Сопоставление значений предельного диффузионного тока, рассчитанного по формуле (1), с экспериментальными данными, определенными из катодных поляризационных кривых, показало, что вычисленные значения близки к экспериментальным для случая, моделирующего условия влажной коррозии (0 мм), а при погружении на глубину 2 и 10 мм – меньше экспериментальных, табл. 1.

Сопоставление изменения скорости коррозии, изменения скорости катодного и анодного процессов при поляризации $\pm 0,11$ В (рис. 3, 4) с глубиной погружения образца в раствор показало, что скорость коррозии зависит от степени увлажнения поверхности (рис. 4). Значительное облегчение катодной реакции восстановления кислорода в тонких пленках влаги и отсутствие при этом заметного торможения анодной реакции обуславливают

высокую скорость коррозии железа в атмосферных условиях [1]. Однако скорость равномерной атмосферной коррозии углеродистой стали редко превышает 0,5 мм/год [1, 3]. При таких скоростях плотность тока составляет около $7,5 \cdot 10^{-2}$ А/м² [9], что меньше приведенных выше значений предельного диффузионного тока [1].

Следует отметить, что определить скорость коррозии из поляризационных кривых в нейтральных средах с достаточной точностью не представляется возможным, вследствие искажения начального участка катодной кривой, что обусловлено не только восстановлением растворенного кислорода, но и оксидов с поверхности металла. Для этих условий скорость коррозии можно оценить по величине предельного диффузионного тока.

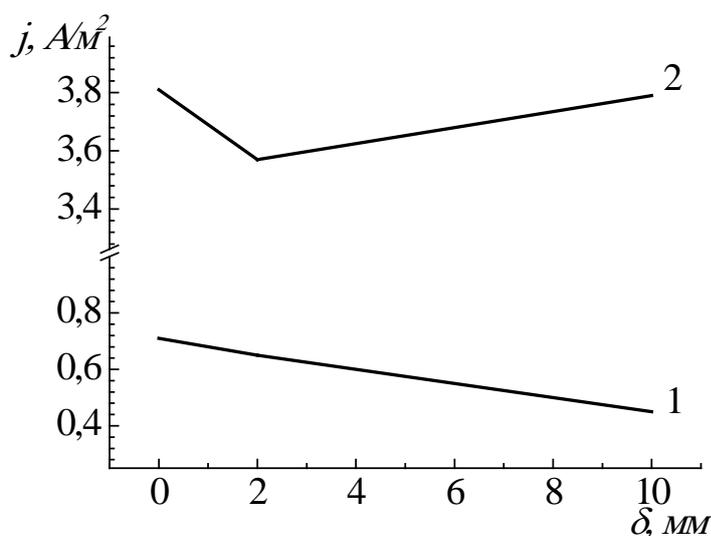


Рис. 3. Изменение плотности катодного (1) и анодного тока (2) в зависимости от глубины погружения образца в раствор 3 % NaCl при поляризации $\pm 0,11$ В

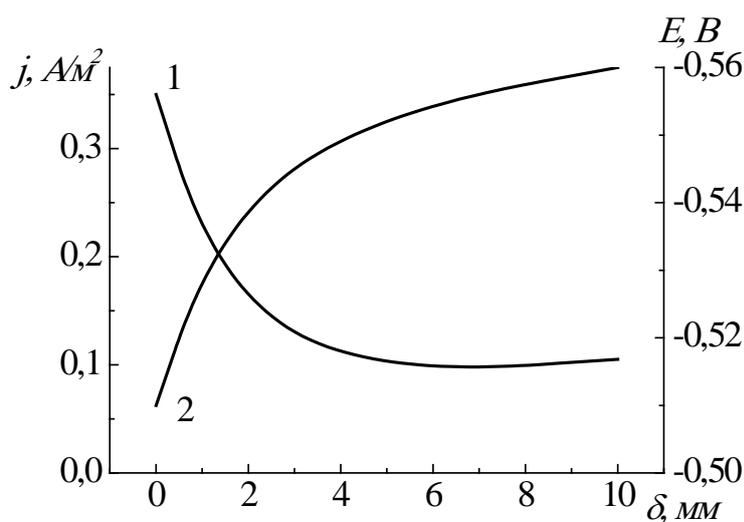


Рис. 4. Изменение скорости коррозии в зависимости от глубины погружения образца: 1 – скорость коррозии; 2 – потенциал коррозии

По данным [1] плотность предельного диффузионного тока при толщине пленки не более 70 мкм составляет около $2,7 \text{ А/м}^2$, по данным проведенного исследования при аналогичных условиях – около 2 А/м^2 , табл. 1. Поэтому, для определения скорости коррозии эффективными могут быть методы, позволяющие измерять токи менее предельного диффузионного – 2 А/м^2 . Одним из таких методов является метод поляризационного сопротивления.

Полученные методом поляризационного сопротивления значения скорости атмосферной коррозии в токовых единицах с помощью многоэлектродного датчика составляли порядка $6,7 \cdot 10^{-6} \dots 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ А/м}^2$ [9], что позволяет отметить эффективность применения метода поляризационного сопротивления в условиях образования как фазовых так и адсорбционных пленок влаги, когда другими методами определить скорость коррозии практически невозможно.

Сопоставление скоростей коррозии в токовых единицах показало, что метод поляризационного сопротивления дает возможность определять малые токи при образовании на поверхности адсорбционных и фазовых пленок, которые по-разному влияют на скорость частных реакций:

- катодной $\text{O}_2 + 4\text{e} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$;
- анодной $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$.

При наличии очень тонкой пленки электролита на поверхности металла наиболее медленно протекает электролитическое восстановление молекулярного кислорода. При полном погружении металла в спокойный электролит торможение катодного процесса связано с затруднением диффузии кислорода к поверхности катода. Затруднение диффузии кислорода вызвано небольшой концентрацией растворенного в электролите кислорода [10]. С уменьшением слоя влаги катодная реакция (восстановление кислорода) всегда ускоряется, а анодная – ионизация металла чаще всего замедляется [1].

В условиях атмосферной коррозии при наличии адсорбционных и фазовых пленок влаги продуктами коррозии являются малорастворимые гидроксиды железа, которые в значительной степени экранируют поверхность металла. Это приводит к образованию пленок продуктов коррозии, вызывает торможение как катодной реакции вследствие замедления диффузии кислорода к поверхности металла, так и анодной в результате торможения переноса ионов металла через пленку. При погружении металла в объем раствора продуктами коррозии являются не только гидроксиды, но и оксигидроксиды железа, имеющие более рыхлую структуру и в меньшей степени тормозящие процесс диффузии кислорода и ионов железа $\text{Fe}^{2+,3+}$, чем гидроксиды.

Таким образом, при изменении глубины погружения образца от 0 до 2 мм (т.е. при переходе от «влажной» к «мокрой» коррозии) происходит изменение контролирующей стадии процесса.

Проведенные исследования показали возможность моделирования условий влажной и мокрой коррозии, при которых на поверхности образцов металлов и электродов датчиков образуются пленки влаги разной толщины.

Выводы:

1. Вольт-амперные измерения на стали Ст3 в 3% растворе NaCl показали, что независимо от глубины погружения электрода в раствор (0...10) мм контролирующей

стадией процесса является процесс диффузии кислорода к поверхности металла, который в значительной степени определяется не градиентом концентрации кислорода в растворе, а толщиной поверхностной пленки.

2. В нейтральной среде скорость коррозии можно оценить по величине катодного тока восстановления кислорода. Показано, что с уменьшением глубины погружения образцов величина предельного диффузионного тока увеличивается от 0,51 до 2 А/м², что позволило установить предел чувствительности датчиков поляризационного сопротивления по плотности тока.

3. Для определения скорости атмосферной коррозии стали Ст3 может быть использован метод поляризационного сопротивления, который позволяет измерять токи меньше чем предельные диффузионные.

Література

1. Розенфельд И. Л. Атмосферная коррозия металлов. – М., Изд-во Академии наук. – 1960. – 372 с.
2. ISO 12944-2:1998. Paints and varnishes . Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments.
3. Коррозия : Справ. изд. / под. ред. Шрайера Л. Л.; пер. с англ. М. : Металлургия, 1982. – 632 с.
4. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – Київ, Академперіодика, 2007. – 323 с.
5. Шель Н. В., Осетров А. Ю., Зарапина И. В. Особенности кинетики электродных процессов и коррозии стали в жидкой и газовой фазах с высоким содержанием SO₂. *Вестник ТГУ*. – Т. 18. Вып. 5, 2013. – С. 2252–2254.
6. Михайловский Ю. Н., Стрекалов П. В., Баландина Т. С. Начальные стадии атмосферной коррозии металлов при отрицательных и положительных температурах влажного воздуха. // *Защита металлов*. – 1976. – Т. 12, № 5. – С. 513–518.
7. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
8. Содержание растворенного кислорода в воде: Методические указания / Составитель Кузьмина И.А. – НовГУ, Великий Новгород, 2007. – 12 с. : Режим доступа : <http://window.edu.ru/resource/029/48029/files/novsu062.pdf>
9. Осадчук С. А., Ныркова Л. И., Рыбаков А. А. Методика мониторинга и

References

1. Rozenfel'd I. L. (1960) *Atmosfernaya korroziya metallov* [Atmospheric corrosion of metals]. Moskva: Izd-vo Akademii nauk.
2. ISO 12944-2:1998. Paints and varnishes . Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments.
3. Shrayer L. L. (Ed.). (1982). *Korroziya* [Corrosion]. Moskva: Metallurgiya.
4. Chviruk V. P., Poliakov S. H., Herasymenko Yu. S. (2008). *Elektrokhimichniy monitorynh tekhnohennykh seredovyshch* [Electrochemical monitoring of man-made environments]. Kyiv: Akadempriodyka, [in Ukrainian].
5. Shel' N. V., Osetrov A. Yu., Zarapina I. V. (2013). *Osobennosti kinetiki elektrodnykh protsessov i korrozii stali v zhidkoy i gazovoy fazakh s vysokim soderzhaniem SO₂* [The peculiarity of the kinetics of electrode processes of steel corrosion in the liquid and gas phases with a high content of SO₂]. *Vestnik TGU – Bulletin TGU*, 18(5), 2252-2254, [in Russian].
6. Mikhaylovskiy Yu. N., Strekalov P. V., Balandina T. S. (1976). *Nachal'nye stadii atmosferno korrozii metallov pri otritsatel'nykh i polozhitel'nykh temperaturakh vlazhnogo vozdukha* [The initial stages of atmospheric corrosion of metals at negative and positive temperatures of humid air]. *Zashchita metallov*. – Protection of metals, 12(5), 513-518, [in Russian].
7. Zhuk N. P. (1976). *Kurs teorii korrozii i zashchity metallov* [Course of the corrosion and metal protection theory]. Moskva: Metallurgiya.
8. Kuz'mina I.A. (2007). *Soderzhanie rastvorennogo kisloroda v vode: Metodicheskie ukazaniya* [Content of dissolved oxygen in water: Guidans]. NovGU, Velikiy Novgorod. Retrieved from <http://window.edu.ru/resource/029/48029/files/novsu062.pdf> [in Russian].
9. Osadchuk S. A., Nyrkova L. I., Rybakov A. A. (2013). *Metodika monitoringa i prognozirovaniya zashchity metallokonstruktsiy ot atmosferno korrozii / Fundamental'nye i prikladnye problemy nauki*.

прогнозирования защиты металлоконструкций от атмосферной коррозии / Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Материалы VIII Международного симпозиума. – Москва, 2013. – Т.4. – С. 3–11.
10 Мальцева Г. Н. Под редакцией д. т. н., профессора С. Н. Виноградова. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.

Materialy VIII Mezhdunarodnogo simpoziuma [Monitoring technique and forecasting of protection of metal structures from atmospheric corrosion. Fundamental and applied problems of science. Materials of the VIII International Symposium, 2013]. Moscow, Russia. Vol. 4. 3-11, [in Russian].
10 Mal'tseva G. N., Vinogradov S. N. (Ed.). (2000). *Korroziya i zashchita oborudovaniya ot korrozii: Ucheb. posobie* [Corrosion and protection of equipment: Tutorial]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, [in Russian].

OSADCHUK SVETLANA

ResearcherID: 5215010000

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-0151>

Department of welding of oil and gas pipes

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
Kyiv

NYRKOVA LYUDMILA

ResearcherID: 6506092726

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3917-9063>

Chief of department «Welding of oil and gas pipes»,

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv

FATEEV YURIY

yurii.fatieiev@gmail.com

Academic department of Technology of

Electrochemical Manufactures

National Technical University of Ukraine «Igor

Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ОСОБЛИВОСТІ КАТОДНОЇ ТА АНОДНОЇ РЕАКЦІЙ НА ВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД ГЛИБИНИ ЗАНУРЕННЯ В НЕЙТРАЛЬНИЙ РОЗЧИН

ОСАДЧУК С. О.¹, НИРКОВА Л. І.¹, ФАТЄВ Ю. Ф.²

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Мета. Дослідження впливу глибини занурення зразків на швидкість корозії сталі Ст3 в 3% розчині NaCl.

Методика. Моделювання вологої та мокрої атмосферної корозії. Метод поляризаційних кривих. Моделювання атмосферної корозії (вологої та мокрої) проводили зануренням зразків сталі Ст3 розміром (50×10×2) мм у нейтральний розчин 3 % NaCl на різну глибину. Підведенням нижньої границі робочої поверхні зразка до рівня розчину (близько 0 мм) моделювали вологу корозію, зануренням на глибину 2 мм (до верхньої границі) – мокру корозію, на 10 мм від верхньої границі – об'єм електроліту. Розроблений метод дозволив проводити електрохімічні дослідження методом поляризаційних кривих. Поляризаційні криві знімали в потенціодинамічному режимі зі швидкістю розгортки потенціалу 5 10⁻⁴ В/с. Робочим електродом служив зразок зі сталі Ст3 розміром (10×50×2) мм. На зразку виділяли робочу поверхню (10×2) мм, іншу частину поверхні ізолювали неелектропровідним лаком.

Результати. Представлені результати дослідження впливу глибини занурення зразків у розчин електроліту на швидкість корозії сталі Ст3. Занурення зразків в 3 % розчин хлориду натрію на глибину від 0 до 10 мм дозволило змодельовати умови вологої та мокрої атмосферної корозії металу. На основі визначення швидкості часткових електродних реакцій які перебігають на електроді встановлено, що швидкість корозії сталі Ст3 визначається величиною граничного дифузійного струму. Показано, що величина граничного струму зі зменшенням глибини занурення збільшується приблизно в чотири рази. Встановлено, що швидкість катодної реакції залежить як від градієнта концентрації кисню в шарах розчину, що знаходяться на різній відстані від границі розчин/повітря, так і від швидкості його дифузії до поверхні металу. Оскільки метод

поляризаційного опору дозволяє вимірювати струми, менші ніж струми відновлення кисню в тонких плівках розчину, то він може бути використаний для оцінки швидкості атмосферної корозії сталі.

Наукова новизна. На основі моделювання вологої та мокрої корозії встановлено вплив зміни глибини занурення зразків на швидкість катодної реакції на сталі Ст3 в 3 % розчині хлориду натрію. При зменшенні глибини занурення від 10 до 0 мм густина катодного (граничного дифузійного) струму збільшується від 0,51 до 2 А/м².

Практична значимість. Запропонований метод моделювання атмосферної корозії можна використовувати для електрохімічних досліджень в тонких плівках вологи різної товщини, що утворюються на поверхні зразків металів і електродів давачів. Показана можливість застосування методу поляризаційного опору в атмосферних умовах.

Ключові слова: сталеві металоконструкції, тонка плівка вологи, дифузійний контроль, метод поляризаційних кривих, метод поляризаційного опору, атмосферна корозія.

THE PECULIARITIES OF CATHODIC AND ANODIC REACTIONS ON CARBON STEEL DEPENDING ON THE DEPTH OF IMMERSION INTO A NEUTRAL SOLUTION OSADCHUK S.¹, NYRKOVA L.¹, FATEEV Yu.²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

²National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Purpose. The investigation of the depth immersion of the specimens on corrosion rate of steel St3 in 3 % NaCl solution.

Methodology. Simulation of atmospheric corrosion (humid and wet) was performed by immersing of a steel sample by the size of (50×10×2) mm in a neutral solution of 3% NaCl at different depths. By leading the lower boundary of the working surface of the sample to the level of the solution (about 0 mm), humid corrosion was simulated, submerged to a depth of 2 mm (up to the upper boundary), wet corrosion, and 10 mm from the upper boundary - the electrolyte volume. The developed method allowed to carry out electrochemical researches by the method of polarization curves. The polarization curves were measured in the potentiodynamic mode with the potential scanning rate of 5·10⁻⁴ V/s. The working electrode was a sample of steel St3 by the size (10×50×2) mm. A work surface (10×2) mm was separated on the sample, the rest of the surface was isolated with a non-conductive varnish.

Results. The results of the investigation of the effect of depth immersion of samples into electrolyte solution on corrosion rate of St3 steel are presented. The conditions of “humid” and “wet” atmospheric corrosion of the metal were simulated by the immersion of samples on a depth from 0 to 10 mm into 3% sodium chloride solution. It was found, that on the base on determination of the rate of particular electrode reactions occurring on the electrode at various depths of its immersion into the solution, the corrosion rate of steel St3 was determined by the value of the limiting diffusion current.

It was shown that the value of limiting current increases from 0.51 to 2 A/m² with decreasing of the film thickness. It has been established that the cathodic process rate depends both on the concentration of oxygen in the layers of the solution, which are at different distances from the solution/air boundary, and on the speed of its diffusion to the metal surface. Because the method of polarization resistance allows to measure the currents smaller than the currents of oxygen reduction in thin films of the solution, it can be used to estimate the rate of atmospheric corrosion of steel.

Scientific originality. Based on simulation of humid and wet atmospheric corrosion the effect of immersion depth of the specimens on the cathodic reaction rate of steel St3 in 3 % NaCl solution was established. The cathodic current density (limit diffusion current) is raised from 0,51 to 2 A/m² under decreasing of immersion depth.

Practical value. The suggested method of simulation of atmospheric corrosion may be used for electrochemical investigations in thin films of moisture of different thickness which are form on the metals and sensors surfaces. The possibility of application of polarization resistance method for atmospheric conditions was presented.

Key words: steel structures, thin film of moisture, diffusion control, the polarization curves method, the polarization resistance technique, atmospheric corrosion.