

УДК 620.193.21

Е.А. Варченко<sup>1</sup>, М.Г. Курс<sup>1</sup>

## ЩЕЛЕВАЯ КОРРОЗИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ

DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-7-96-105

*Представлены результаты исследования склонности к щелевой коррозии алюминиевых сплавов АМг6, Д16-Т и нержавеющей стали 08Х17 при испытаниях в естественной морской воде Черного моря. Проведены оценка изменения внешнего вида образцов, металлографический анализ и оценка степени биообрастания. Представлены физико-химические показатели морской воды, определенные в том числе методом капиллярного электрофореза. Проведен анализ испытаний на коррозионную стойкость в морской воде, особенностей методологии испытаний на щелевую коррозию, а также представлен механизм образования щелевой коррозии.*

**Ключевые слова:** щелевая коррозия, натурные морские испытания, алюминиевые сплавы, нержавеющие стали, биообрастание, металлографический анализ.

Е.А. Varchenko<sup>1</sup>, M.G. Kurs<sup>1</sup>

## CREVICE CORROSION OF ALUMINUM ALLOYS AND STAINLESS STEEL IN MARINE WATER

*The results of a study of the susceptibility to crevice corrosion of aluminum alloys AMg6, D16-T and stainless steel 08X17 in tests in the natural sea water of the Black Sea are presented. The estimation of changes in appearance of samples, metallographic analysis and estimation of the degree of biofouling is carried out. Physico-chemical indicators of sea water, including those determined by capillary electrophoresis, are presented. The analysis of corrosion resistance tests in seawater, the features of the methodology for slit corrosion testing, and the mechanism of crevice corrosion formation are presented.*

**Keywords:** crevice corrosion, full-scale marine tests, aluminum alloys, stainless steels, bio-fouling, metallographic analysis.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

### Введение

В настоящее время решение вопросов защиты материалов и конструкций от коррозионного разрушения является приоритетной задачей, что обуславливает необходимость разработки новых коррозионностойких материалов и средств их защиты [1–4]. Химические, физические и биологические загрязнения природной среды приводят к заметной интенсификации коррозионных процессов.

Щелевая коррозия, выводя из строя приборы и аппараты, стоимость которых превышает часто в сотни и тысячи раз стоимость самих металлов, из которых они изготовлены, влечет за собой нарушения технологических процессов, остановку работы оборудования, сбой функционирования сооружений и, как следствие, техногенные аварии. Интенсивная коррозия развивается при этом не только в предусмотренных конструкцией, но и во вновь появляющихся в процессе эксплуатации изделий зазорах и щелях.

Биологическое обрастание конструкций в море также создает условия для возникновения щелей, в которых развивается интенсивная коррозия. Разнообразные

повреждения покрытий (отслаивания, вздутия), иловые и песчаные осадения на металлических конструкциях также способствуют появлению щелей и развитию в них коррозии. В принципе, ни одно механическое соединение не может быть настолько плотным, чтобы его нельзя было считать щелью [5].

Для инициирования процесса щелевой коррозии достаточно небольшого зазора между изделием и другим предметом. В роли этого второго предмета обычно выступает другая металлическая конструкция либо изолирующий материал: уплотнитель или резиновая прокладка и пр. Решающим фактором начала развития щелевой коррозии является геометрическая форма зазора. Зазор должен быть достаточно большим для проникновения химически агрессивной жидкости, но не настолько большим, чтобы материал мог вымываться из зазора течением или конвекцией жидкости.

Механизм образования щелевой коррозии хорошо известен. Первая стадия – это накопление в зазоре агрессивных ионов (таких как хлорид-ионы) и вытеснение кислорода из раствора внутри зазора. Это приводит к формированию анода в зазоре, а материал вне зазора становится катодом. Коррозия образуется в зазоре по двум причинам: во-первых, пассивная пленка разрушается из-за вытеснения кислорода; во-вторых, коррозионные реакции в анодной зоне вызывают изменение кислотности среды (со временем кислотность в зазоре возрастает). Наиболее интенсивно щелевая коррозия протекает в кислотных условиях, в хлоридсодержащих средах [6].

Наиболее существенное влияние на состояние техники оказывает не механический износ, а процессы коррозии и старения материалов под действием климатических факторов [7, 8]. Предварительное определение климатического исполнения изделий позволяет не только обеспечить безопасную эксплуатацию, но и значительно снизить затраты на ремонт и восстановление после поломок и разрушений изделий и сложных технических систем при воздействии климатических факторов [9–11].

Особенно чувствительны к щелевой коррозии некоторые металлы, пассивное состояние которых обусловлено доступом окислителей, обеспечивающих сохранение их в пассивном состоянии. К ним относятся в первую очередь нержавеющие стали и алюминиевые сплавы, являясь при этом важнейшими конструкционными материалами.

Щелевая коррозия данных сплавов наиболее активно развивается в атмосфере с высоким содержанием хлорид-ионов [12]. Однако значительное количество работ по исследованию щелевой коррозии металлических материалов основано на результатах лабораторных исследований в хлорид-содержащих растворах и в солевом тумане [13]. В данной работе приведены результаты исследований стойкости металлических материалов к щелевой коррозии в естественной морской воде.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 18.2. «Развитие методов климатических испытаний и инструментальных методов исследования» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [14].

*Испытания на коррозионную стойкость в морской воде.* Главным компонентом, определяющим коррозионную агрессивность морской воды, являются галоидные ионы, концентрация которых достигает 30 г/л. Испытания в морской воде отличаются более локальным развитием коррозии и приводят к большей глубине поражений при меньших общих массо-потерях. Кроме того, в значительной степени на агрессивность морской воды влияет и содержание кислорода, концентрация которого в зависимости от солености воды, скорости движения потока и глубины погружения может меняться в широком диапазоне.

Важнейшим фактором, влияющим на коррозионное воздействие морской воды в природных условиях, является биологическое обрастание, которое, зачастую, более интенсивно идет в поверхностных слоях и может приводить как к уменьшению, так и к увеличению коррозионной стойкости металлических материалов. При экспонировании

образцов в поверхностных слоях моря, на их поверхности образуется тонкая, почти сплошная карбонатная пленка, легко растворимая при обработке образцов в кислотах. В этом случае от биологического обрастания наблюдается положительный эффект, оказываемый на состояние металлических образцов. Но одновременно наличие такой пленки может приводить и к еще более неравномерному распределению очагов коррозии.

Согласно научно-техническим литературным данным [15], коррозионная стойкость алюминия и его сплавов в морской воде значительно ниже, чем в атмосферных условиях и существенно снижается по мере увеличения глубины погружения в морскую воду [16], что связано в первую очередь с понижением концентрации кислорода в воде. Такая зависимость коррозии от содержания кислорода характерна практически для всех металлов, находящихся в пассивном состоянии. Морская вода это хорошо аэрированный нейтральный электролит с высокой электропроводностью (содержание солей – от 1 до 4%). Механизм коррозии в морской воде электрохимический, преимущественно с кислородной деполяризацией. При этом наблюдается разделение процесса коррозии: на поверхности металла протекает катодный процесс, а в порах, трещинах и других дефектах оксидной пленки – анодный. Кроме общей коррозии это обуславливает возникновение на металле язвенных и питтинговых поражений [17]. Присутствие ионов-активаторов (преимущественно хлорид-ионов) препятствует образованию пассивных пленок на поверхности металлов. Современный солевой состав морской воды удалось достаточно точно определить после обработки результатов кругосветной британской экспедиции на корвете «Челленджер» (1872–1876 гг.). Химический анализ 77 проб морской воды, взятых в разных районах Мирового океана, привел к интересным выводам, из которых наиболее важный – о постоянстве солевого состава. Оказалось, что в пробах морской воды разной солености взаимные количественные соотношения основных ионов всегда остаются неизменными [18].

*Особенности методологии испытаний на щелевую коррозию.* Основные требования к методам проведения коррозионных испытаний и оценке свойств регламентированы комплексом документов, входящих в Единую систему защиты от коррозии и старения.

Основным документом, устанавливающим требования к проведению натуральных климатических испытаний металлических материалов, является ГОСТ 9.909–86 [19] (его зарубежный аналог – ISO 8565:2011 [20]). Стандарт устанавливает требования к проведению испытаний на атмосферную коррозию, на коррозию под напряжением, на контактную коррозию, а также на щелевую коррозию в атмосфере и морской воде. Сущность метода испытаний на щелевую коррозию в атмосфере заключается в экспонировании образцов в условиях, при которых возможно исследование воздействия климатических факторов на протекание коррозионных процессов в щелях и зазорах между одинаковыми металлами и между металлом и неметаллом. Метод испытаний на щелевую коррозию в морской воде заключается в экспонировании образцов в условиях, при которых возможно исследование воздействия морской воды на протекание коррозионных процессов в щелях и зазорах между одинаковыми металлами или между металлом и неметаллом. Аналогичный метод представлен и в ASTM G 0078-01 «Руководство по проведению испытаний на щелевую коррозию нержавеющей сталей на основе железа и никеля в морской воде и других хлоридсодержащих водных средах» [21].

По требованиям американского стандарта ASTM G 0048-03 «Методы испытаний для определения сопротивления точечной и щелевой коррозии нержавеющей сталей и сплавов с использованием раствора хлорида железа» (отражено в ГОСТ 9.912–89 [22]) испытания на стойкость к щелевой коррозии проводят в растворе хлорида железа ( $\text{FeCl}_3$ ) с применением сборки, в которой щель создается креплением образца с фторопластовым цилиндром. Автор работы [23] сделал вывод, что по испытаниям в растворе  $\text{FeCl}_3$  можно ориентировочно судить о щелевой коррозии аустенитных сталей в морской воде, однако полное соответствие натурным данным отсутствует [13].

### Материалы и методы

Для проведения испытаний на щелевую коррозию использовали образцы, изготовленные по требованиям ГОСТ 9.909-86 [18], – пакет №3 (рис. 1) из листов толщиной 2 мм алюминиевых сплавов АМг6 и Д16-Т и нержавеющей стали 08Х17. Для изготовления такого пакета исследуемые пластины металлических материалов стягивают шпильками из нержавеющей стали, изолированными от контакта с исследуемым образцом. Зазор между пластинами создается с помощью разделительной шайбы из оргстекла.

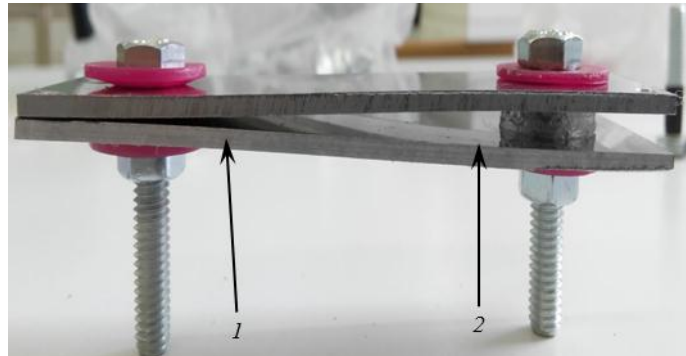


Рис. 1. Внешний вид собранного пакета, используемого для проведения натуральных испытаний на щелевую коррозию по ГОСТ 9.909–86:

1 – зона сопряжения пластин; 2 – зона, свободная от сопряжения

Испытания проводили при постоянном полном погружении в естественную морскую воду в Геленджикском центре климатических испытаний им. Г.В. Акимова. Для испытаний применяли морскую воду Геленджикской бухты (Черное море), предварительно очищенную от механических примесей путем фильтрации через трехслойный марлевый фильтр. Смену морской воды в резервуарах для испытаний с погружением в морскую воду производили с периодичностью один раз в неделю. Забор морской воды из акватории осуществляли при силе ветра не более 5 м/с во избежание попадания морского ила. Для обеспечения равномерного обрастания образцы располагали вертикально, длиной торцевой стороной вниз.

Для контроля коррозионной агрессивности морской воды в акватории измеряли следующие параметры: температуру воды, ее соленость, плотность, водородный показатель (рН), а также проводили определение концентрации ионов. Измерение температуры, солености и плотности воды проводили по ГОСТ 9.906-83, измерение водородного показателя (рН) воды проводили согласно РД 52.10.735 непосредственно вблизи места экспозиции образцов.

В табл. 1 приведены средние сезонные значения температуры, плотности, рН и солености морской воды за период проведения испытаний (Черное море, Геленджикская бухта).

Таблица 1

#### Сезонные значения температуры, плотности, рН и солености морской воды в акватории Геленджикской бухты

| Параметры морской воды       | Значения параметров |        |        |        |
|------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|
|                              | летом               | осенью | зимой  | весной |
| Температура, °С              | 24,4                | 18,7   | 7,8    | 12,7   |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> | 1010,5              | 1011,7 | 1012,7 | 1012,3 |
| рН                           | 7,9                 | 7,9    | 7,9    | 7,9    |
| Соленость, ‰                 | 18,4                | 17,7   | 17,0   | 16,9   |

Ионный состав морской воды определяли методом капиллярного электрофореза. Средние значения концентрации катионов за период проведения испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрация катионов в морской воде

| Катионы | Концентрация катионов, мг/л |
|---------|-----------------------------|
| Натрий  | 5106,8                      |
| Магний  | 597,3                       |
| Кальций | 194,6                       |
| Калий   | 150,1                       |

### Результаты и обсуждение

После 12 мес испытаний в морской воде проведена оценка изменения внешнего вида образцов из сплавов АМгб, Д16-Т и стали 08Х17, а также проведен металлографический анализ.

В результате оценки внешнего вида поверхности образцов установлено наличие коррозионных поражений на образцах из сплава АМгб на 100% поверхности в зоне сопряжения поверхностей пластин и до 40% коррозионных поражений с диаметром коррозионных очагов 3–5 мм в зоне, свободной от сопряжения. На образцах из сплава Д16-Т на внутренней стороне пакета, в зоне сопряжения образцов отмечаются коррозионные поражения на 100% поверхности, на внутренней стороне свободной от сопряжения поверхности – коррозионные поражения диаметром 3–5 мм на 60% поверхности. На образцах из стали 08Х17 коррозионные поражения в зоне сопряжения на 40% поверхности – диаметром до 1 мм; в зоне, свободной от сопряжения, – единичные коррозионные поражения диаметром <0,5 мм. До 95–100% внешней поверхности образцов соединений из алюминиевых сплавов АМгб, Д16-Т и нержавеющей стали 08Х17 покрыто солевыми осадками, в толще которых отмечается развитие биообрастателей (преимущественно фитобентосных организмов *p. Cystoseira*). Закрепления биообрастателей на металлической поверхности не отмечается – солевой налет вместе с биообрастателями легко удаляется с поверхности образца (рис. 2).

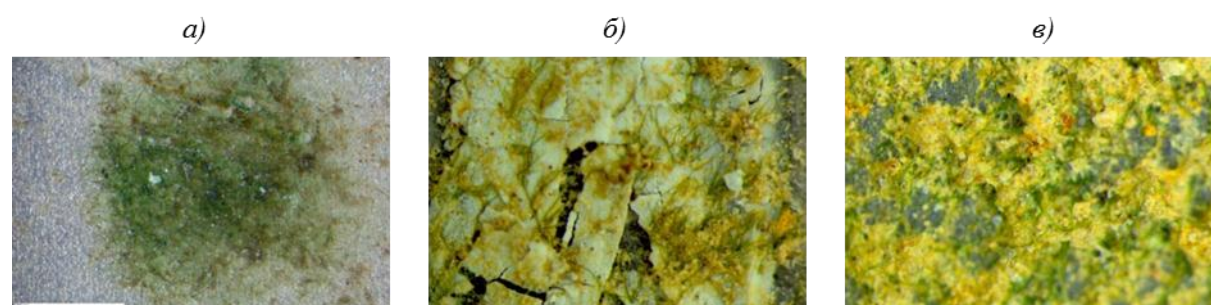


Рис. 2. Обрастание образцов фитобентосными организмами *p. Cystoseira* сплавов АМгб (*a* –  $\times 1,25$ ) и Д16-Т (*b* –  $\times 2$ ), а также стали 08Х17 (*c* –  $\times 3,2$ )

По результатам металлографических исследований установлено отсутствие межкристаллитной коррозии для сплава АМгб и стали 08Х17 как в зоне сопряжения поверхностей пластин, так и в зонах, свободных от сопряжения.

Для сплава АМгб установлено увеличение глубины местной коррозии после 1 года испытаний по сравнению с 6 мес экспозиции: с 0,068 до 0,1 мм – в зоне сопряжения поверхностей; с 0,02 до 0,05 мм – в зоне, свободной от сопряжения (рис. 3). Таким образом, величина ускорения коррозии сплава АМгб при наличии щели после 1 года

экспозиции составила величину  $K_{\text{уск}}=2$  (рис. 4) – указанный коэффициент ускорения рассчитан как соотношение глубины местной коррозии в зоне сопряжения 1 и в зоне, свободной от сопряжения, 2.

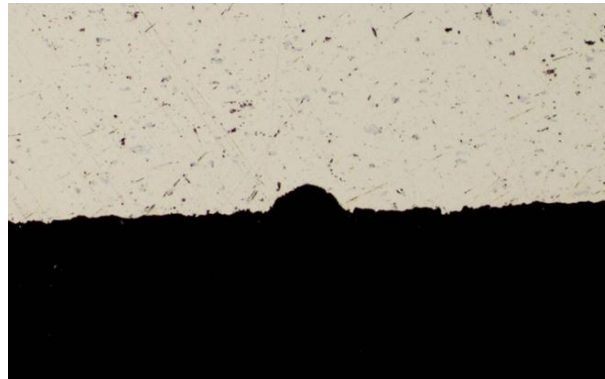


Рис. 3. Местная коррозия сплава АМг6 глубиной 0,05 мм в зоне, свободной от сопряжения

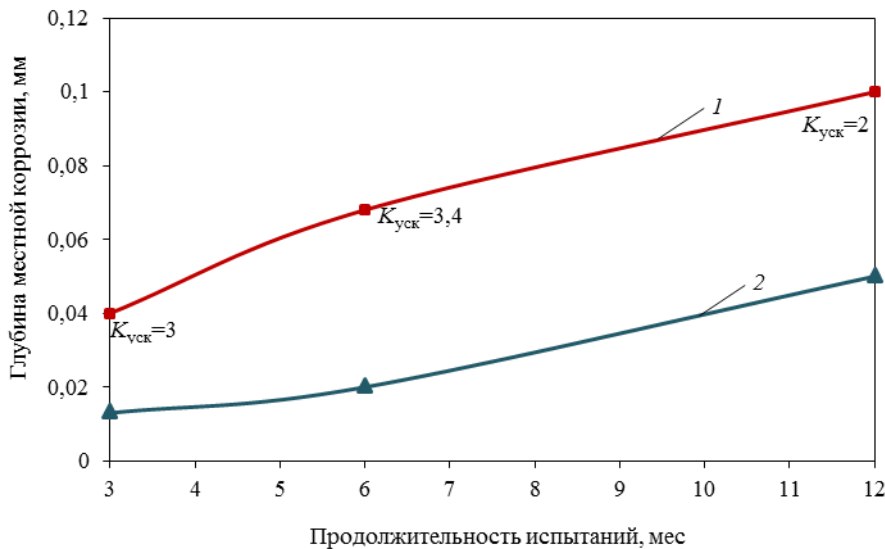


Рис. 4. Глубина местной коррозии сплава АМг6 после 3; 6 и 12 мес испытаний в морской воде в зоне сопряжения (1) и в зоне, свободной от сопряжения (2)

Анализ сравнительных данных по коррозионной стойкости алюминиевых сплавов АМг6, Д16-Т и стали 08Х17 при испытаниях на открытой площадке и при постоянном полном погружении в морскую воду показывает значительное увеличение потерь массы и потерь механических свойств материалов при испытаниях в морской воде (рис. 5 и 6). Несмотря на минимальные коррозионные повреждения образцов из сплава АМг6, для которого после 1 года испытаний в морской воде потери массы не превышают  $4 \text{ г/м}^2$ , данный материал характеризуется значительным снижением предела текучести, что проявляется даже при наличии минимальных коррозионных повреждений поверхности, являющихся концентраторами разрушения при механических испытаниях.

Для сплава Д16-Т установлено увеличение глубины межкристаллитной коррозии после 1 года испытаний по сравнению с 3 мес экспозиции: с 0,5 мм до сквозной коррозии – в зоне сопряжения поверхностей; с 0,06 мм до 0,22 мм – в зоне, свободной от сопряжения (рис. 7). Для стали 08Х17 после 1 года испытаний выявлено наличие местной коррозии глубиной 0,4 мм в зоне сопряжения поверхностей (рис. 8).

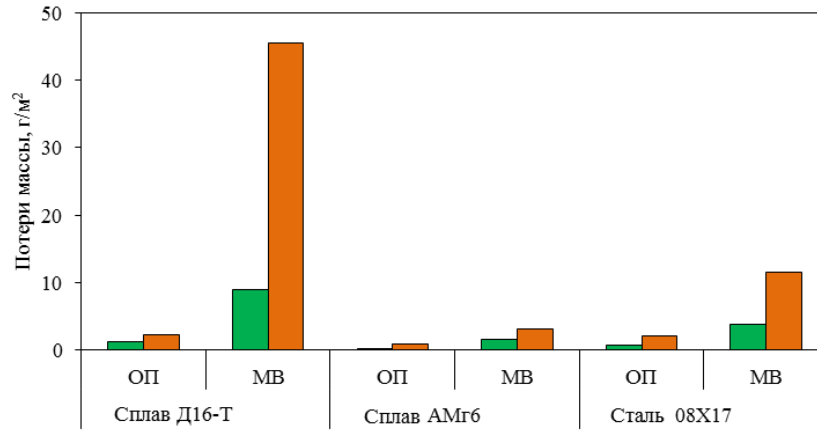


Рис. 5. Потери массы образцов из алюминиевых сплавов АМг6, Д16-Т и стали 08X17 после 3 (■) и 12 мес (■) испытаний в морской воде (МВ) и на открытой площадке (ОП)

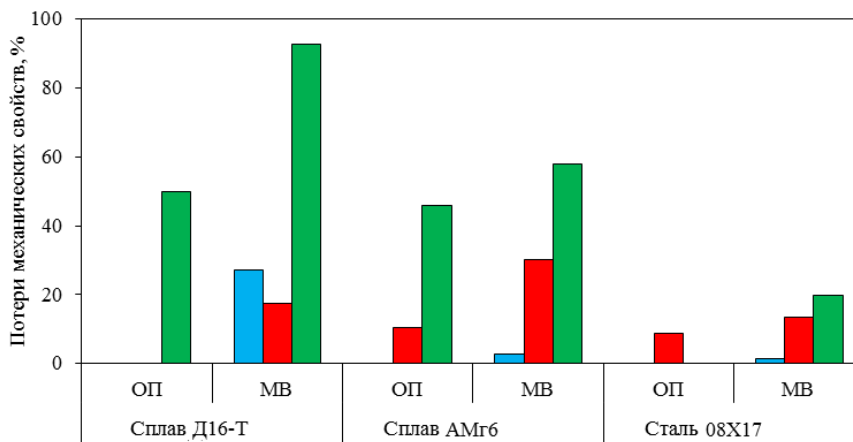


Рис. 6. Потери механических свойств ( $\sigma_b$  (■),  $\sigma_{0,2}$  (■) и  $\delta$  (■)) образцов из алюминиевых сплавов АМг6, Д16-Т и стали 08X17 после 12 мес испытаний в морской воде (МВ) и на открытой площадке (ОП)



Рис. 7. Межкристаллитная сквозная коррозия сплава Д16-Т в зоне сопряжения поверхностей



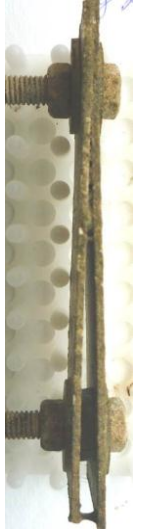



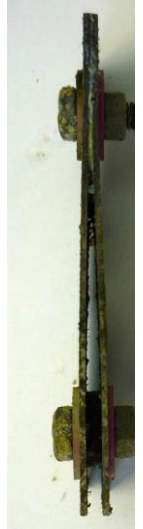



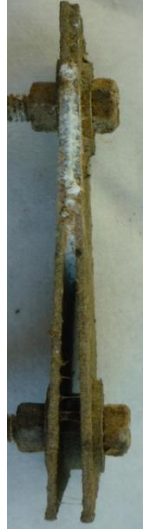



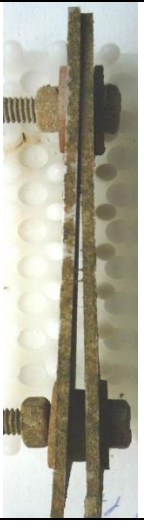





Рис. 8. Местная коррозия стали 08X17 глубиной 0,4 мм в зоне сопряжения поверхностей

Внешний вид образцов и стадии развития щелевой коррозии сплавов АМг6, Д16-Т и стали 08X17 после 3; 6 и 12 мес испытаний в морской воде представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Стадии развития щелевой коррозии при испытаниях в морской воде

| После 3 мес испытаний   |   | После 6 мес испытаний   |   | После 1 года испытаний  |   |
|---|---|---|---|---|---|
| Сплав АМгб  |   |   |   |   |   |
|    |    |    |    |    |    |
| Сплав Д16-Т   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |
| Сталь 08Х17   |   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |  |

Фактически при испытаниях стали 08X17 в течение 3; 6 и 12 мес можно выделить три стадии процесса развития щелевой коррозии, когда пассивная коррозия после 3 мес экспозиции сменяется активным ростом коррозионных поражений к 1 году испытаний, что подтверждается описанием трехстадийного процесса развития щелевой коррозии нержавеющей сталей, приведенного в работе [13], при котором на первой стадии поверхность в зоне щели находится в состоянии пассивной коррозии с кислородной деполяризацией; на второй стадии при истощении запаса кислорода накапливаются продукты растворения – ионы железа, меди, никеля, гидролиз которых вызывает подкисление раствора; на третьей стадии при снижении уровня pH пассивная пленка разрушается и коррозия становится активной.

### Заключения

По результатам проведения натуральных испытаний в морской воде на щелевую коррозию выявлено ускорение коррозионного разрушения при наличии щели, которое для сплава АМгб составило величину  $K_{\text{уск}}=2$  после 1 года экспозиции. Для стали 08X17 установлен трехстадийный процесс развития щелевой коррозии с резким ускорением процесса коррозионного разрушения на третьей стадии.

При испытаниях в акватории Геленджикской бухты установлено преимущественное обрастание образцов металлических материалов фитобентосными организмами *p. Cystoseira*, степень обрастания которыми после 1 года экспозиции достигает 100%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
2. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // Пермские авиационные двигатели: информ. бюл. 2014. №S. С. 43–47.
3. Каблов Е.Н., Никифоров А.А., Демин С.А., Чесноков Д.В., Виноградов С.С. Перспективные покрытия для защиты от коррозии углеродистых сталей // Сталь. 2016. №6. С. 70–81.
4. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Гращенков Д.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. Металломатричные композиционные материалы на основе Al–SiC // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 373–380.
5. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. М.: Металлургия, 1969. 448 с.
6. Зайцев А.Н., Суздальцева Е.В. К вопросу о коррозии труб горячего водоснабжения из нержавеющей стали // Системные технологии. 2017. №23. С. 4–14.
7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. 2010. №12. С. 40–46.
8. Кириллов В.Н., Ефимов В.А. Проблемы исследования климатической стойкости авиационных неметаллических материалов // 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: юбил. науч.-технич. сб. М.: ВИАМ, 2007. С. 379–388.
9. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. и др. Металлические композиционные материалы на основе Al–SiC для силовой электроники // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. Т.18. №3. С. 359–368.
10. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
11. Курс М.Г., Каримова С.А. Натурно-ускоренные испытания: особенности методики и способы оценки коррозионных характеристик алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 51–57. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-51-57.

12. Синявский В.С., Калинин В.Д. Коррозия и способы защиты алюминиевых сплавов в морской воде соответственно их составу и структуре // Защита металлов. 2005. Т. 41. №4. С. 347–359.
13. Белоус В.Я., Гурвич Л.Я., Ерофеева В.Л. и др. Щелевая коррозия нержавеющей сталей в атмосфере // Защита металлов. 1995. Т. 31. №2. С. 184–190.
14. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
15. Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. 2-е изд. М.: Металлургия, 1986. 368 с.
16. Морская коррозия: справочник. М.: Металлургия, 1983. 512 с.
17. Сыркин А.М., Молякко М.А., Шевляков Ф.Б. Основы электрохимических процессов: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. 127 с.
18. Феоктистова М.В. Влияние химического состава и структурных факторов на коррозионную стойкость низколегированных сталей в водных средах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2018. 28 с.
19. ГОСТ 9.909–86. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. М.: Изд-во стандартов, 1986. 20 с.
20. ISO 8565:2011. Металлы и сплавы. Испытание на атмосферную коррозию. Общие требования. Швейцария, Женева: ISO, 2011. 5 с.
21. ASTM G0078-01. Руководство по проведению испытаний на щелевую коррозию нержавеющей сталей на основе железа и никеля в морской воде и других хлоридсодержащих водных средах. США: ASTM, 2001. 7 с.
22. ASTM G0048-03. Методы испытаний для определения сопротивления точечной и щелевой коррозии нержавеющей сталей и сплавов с использованием раствора хлорида железа. США: ASTM, 2003. 11 с.
23. Garner A. Crevice Corrosion of stainless steels in seawater: correlation of field data with laboratory ferric chloride tests // Corrosion. 1981. Vol. 37. No. 3. P. 178–184.