

УДК 691.714

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ, МІКРОЛЕГОВАНИХ АЛЮМІНІЄМ, ТИТАНОМ ТА АЗОТОМ

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н, проф.,
УЗЛОВ О. В.^{2*}, к. т. н., доц.,
ДРОЖЕВСЬКА Г. В.³, асист.

¹Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

Анотація. Мета дослідження. Визначити рівень корозійної стійкості сталі, легованої титаном, алюмінієм та азотом (сталь типу 20АТЮ) в термічно зміцненому стані та порівняти зі сталями, стійкими до атмосферної корозії, що використовуються для деталей вантажних залізничних вагонів (сталь 09Г2Д). **Методика.** Випробування досліджуваної та порівняльної сталей на стійкість до атмосферної корозії проводились згідно з ГОСТ 9.909-86 «Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях». Обробка отриманих результатів здійснювалась згідно з ГОСТ 9.908-85 «Единая система защиты от коррозии. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости». Як показник корозійної стійкості було прийнято втрату маси зразків за визначений час. Металографічний метод оцінювання корозійних уражень застосовували за допомогою оптичного мікроскопа «НЕОФЛОТ-32». Під час дослідження визначено глибину проникнення корозійного шару. Дослідження мікроструктури та деяких характерних локальних ділянок корозійних уражень проводили за допомогою растрового електронного мікроскопа «Carl Zeiss». Хімічний склад окремих структурних складових та продуктів корозії визначено за допомогою енергодисперсійного рентгеноспектрального аналізу з використанням спеціалізованого обладнання «TEAM™ EDS Analysis System for SEM, EDAX». **Результати.** Визначено показник корозійної стійкості досліджуваної сталі типу 20АТЮ в термічно зміцненому стані порівняно з базовою вагонобудівною сталлю 09Г2Д в гарячекатаному стані. **Наукова новизна.** Встановлено, що сталь, легована алюмінієм, титаном та азотом, має рівень корозійної стійкості, що відповідає вимогам до матеріалів для вагонобудування. **Практична значимість.** В Україні, за оцінками Укрзалізниці, середній ступінь зносу парку піввагонів становить 86...89 %. Для вирішення проблеми УЗ сформулювала основні вимоги до вагонів нового покоління. Без застосування нових високоміцних матеріалів для деталей вагонів задовольнити ці вимоги неможливо. Одні з таких перспективних матеріалів, на наш погляд, – це високоміцні сталі типу 20АТЮ. Міцнісні та пластичні властивості даних сталей були вивчені раніше і задовольняють вимогам УЗ. Проте корозійні властивості сталей типу 20АТЮ раніше не вивчалися, тому проведення випробувань на стійкість до атмосферної корозії вельми актуальне.

Ключові слова: атмосферна корозія; сталь типу 20АТЮ; швидкість корозії; деталі кузова залізничного вагона; оптичний мікроскоп; растровий електронний мікроскоп; енергодисперсійний рентгеноспектральний аналіз

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ, МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ, ТИТАНОМ И АЗОТОМ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,
УЗЛОВ О. В.^{2*}, к. т. н., доц.,
ДРОЖЕВСКАЯ А. В.³, ассист.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

Аннотация. Цель исследования. Определить уровень коррозионной стойкости стали, легированной титаном, алюминием и азотом (сталь типа 20АТЮ) в термоупрочненном состоянии; и сравнить со сталями, устойчивыми к атмосферной коррозии, которые применяются для деталей грузовых железнодорожных вагонов (сталь 09Г2Д). **Методика.** Испытания исследуемой и сравнительной сталей на стойкость к атмосферной коррозии проводились согласно ГОСТ 9.909-86 «Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях». Обработка полученных результатов осуществлялась согласно ГОСТ 9.908-85 «Единая система защиты от коррозии. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости». В качестве показателя коррозионной стойкости была принята потеря массы образцов во времени. Металлографический метод оценки коррозионных поражений осуществлялся с помощью оптического микроскопа «NEOPHOT - 32». В ходе исследования был определен показатель глубины проникновения коррозионного слоя. Исследование микроструктуры и некоторых характерных локальных участков коррозионных поражений применяли с помощью растрового электронного микроскопа «Carl Zeiss». Химический состав отдельных структурных составляющих и продуктов коррозии был определен с помощью энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа с использованием специализированного оборудования «TEAM™ EDS Analysis System for SEM, EDAX». **Результаты.** Определен показатель коррозионной стойкости исследуемой стали типа 20АТЮ в термоупрочненном состоянии по сравнению с базовой вагоностроительной сталью 09Г2Д в горячекатаном состоянии. **Научная новизна.** Установлено, что сталь, легированная алюминием, титаном и азотом, имеет уровень коррозионной стойкости, соответствующий требованиям к материалам для вагоностроения. **Практическая значимость.** В Украине, по оценкам Укржелдороги, средняя степень износа парка полувагонов составляет 86...89 %. Для решения проблемы УЗ сформулировала основные требования к вагонам нового поколения. Без применения новых высокопрочных материалов для деталей вагонов удовлетворить эти требования невозможно. Одними из таких перспективных материалов, на наш взгляд, являются высокопрочные стали типа 20АТЮ. Прочностные и пластические свойства данных сталей были изучены ранее и удовлетворяют требованиям УЗ. Однако коррозионные свойства сталей типа 20АТЮ ранее не изучались, поэтому проведение испытаний на устойчивость к атмосферной коррозии весьма актуально.

Ключевые слова: атмосферная коррозия; сталь типа 20АТЮ; скорость коррозии; детали кузова железнодорожного вагона; оптический микроскоп; растровый электронный микроскоп; энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ

INVESTIGATION OF CORROSION RESISTANCE OF STEELS MICROALLOYED BY ALUMINUM, TITANIUM AND NITROGEN

*BOLSHAKOV V.I.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
UZLOV O.V.^{2*}, Ph. D., Ass. Prof.,
DROZHEVSKA H.V.³, assistant*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

³ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

Summary. Purpose of the study. To determine the level of corrosion resistance of steel alloyed by titanium, aluminum and nitrogen (20ATЮ steel type) in the heat-strengthening state and to compare with the steels resistant to atmospheric corrosion, which are used as components of freight railway wagons (steel 09G2D). **Methodology.** The tests of studied and the comparative steels for resistance to atmospheric corrosion were carried out according to GOST 9.909-86. Processing of the obtained results was carried out according to GOST 9.908-85. The mass loss of the samples during the time was adopted as a measure of corrosion resistance. Metallographic method for estimation of corrosion damages was carried out using an optical microscope «NEOPHOT - 32". During the study, the penetration depth indicator of corrosion layer was determined. Investigation of the microstructure and some typical local sites of corrosive lesions was carried out using a scanning electron microscope "Carl Zeiss". Chemical composition of typical structural components and corrosion products was determined by energy dispersive X-ray analysis using specialized equipment «TEAM™ EDS Analysis System for SEM, EDAX». **Results.** During the study, was determined the rate of corrosion resistance of 20ATЮ type steel in the heat-strengthening state compared with the base carriage steel 09G2D in hot rolled condition. **Scientific novelty.** It was found that the steel, alloyed by aluminum, titanium and nitrogen, has a level of corrosion resistance, corresponding to the requirements of materials for car building. **Practical significance.** In Ukraine, according to The State Administration of Railway Transport of Ukraine, also known as "Ukrzaliznytsia", the average degree of wear railcars park is 86-89%. "Ukrzaliznytsia" has formulated the basic requirements for railcars of new generation. Without the use of new high-strength materials for parts railcars to meet these requirements is impossible. One of such promising materials, in our opinion, are high strength 20ATYu type steel. Strength and plastic properties of these steels has been studied previously and meet the requirements of the "Ukrzaliznytsia". However, corrosion properties of 20ATYu type steels has not been previously studied, so testing for resistance to atmospheric corrosion is very important.

Keywords: atmospheric corrosion; 20ATYu type steel; corrosion rate; scanning electron microscope; energy dispersive X-ray analysis

Постановка проблеми

Одной из основных причин снижения несущей способности элементов кузова вагонов, приводящих к появлению сквозных повреждений ограждающих элементов, а, следовательно, к снижению надежности вагонов и безопасности движения, является коррозия. В коррозионно-агрессивной среде происходит сравнительно быстрое уменьшение рабочего сечения элементов, возникают концентраторы напряжений в виде коррозионных повреждений, которые снижают предел выносливости основных несущих элементов кузова и рамы вагона и могут явиться причиной появления коррозионно-усталостных трещин и аварийных разрушений. Надежность кузовов должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить безопасность движения в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, а также внешней среды и грузов повышенной коррозионной агрессивности.

Снижение надежности вагонов происходит в результате увеличения уровня воздействующих нагрузок, накопления коррозионных и коррозионно-усталостных повреждений основных несущих элементов рамы и кузова, а также коррозии относительно слабонагруженных ограждающих элементов кузова. Основной средой эксплуатации вагонов является атмосфера, поэтому причиной коррозионных повреждений элементов кузова вагона в большей степени является атмосферная коррозия. Известно [1], что скорость коррозии основных элементов полувагонов составляет около 0,2 мм/год.

На сегодняшний день в качестве атмосферокоррозионной стали для вагоностроения применяют сталь марки 09Г2Д. Однако, в связи с повышенными нагрузками на ось и многочисленными ж/д авариями, происходящими вследствие разрушения конструктивных элементов вагонов, ПАО «Укрзалізниця» (УЗ) были сформулированы требования для создания вагонов нового поколения. Одним из таких требований является повышение прочностных характеристик деталей вагонов (предел прочности σ_b не менее 550 Н/мм², предел текучести σ_t не менее 350 Н/мм²). Без применения новых высокопрочных материалов для деталей вагонов удовлетворить эти требования невозможно. Одними из таких перспективных

материалов, на наш взгляд, являются высокопрочные стали типа 20АТЮ. Прочностные и пластические свойства данных сталей были изучены ранее [2; 3] и удовлетворяют требованиям ПАО «Укрзалізниця». Однако коррозионные свойства сталей типа 20АТЮ детально ранее изучены не были.

Результаты исследований

Испытания на стойкость к атмосферной коррозии проводились на образцах из стали типа 20АТЮ в термоупрочненном состоянии. Выбор образцов из стали после термического упрочнения обоснован тем, что повышенный комплекс прочностных свойств исследуемая сталь приобретает в термоупрочненном состоянии. Сравнительные испытания на стойкость к атмосферной коррозии проводились на образцах из стали 09Г2Д в горячекатаном состоянии, что соответствует ее структурному состоянию в условиях эксплуатации. Химический состав исследуемых сталей представлен в таблице 1.

Испытания исследуемой и сравниваемой сталей на стойкость к атмосферной коррозии проводили согласно ГОСТ 9.909-86 «Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях» [4]. Сущность испытаний заключалась в экспонировании образцов в атмосферных условиях г. Днепропетровск с последующей оценкой их коррозионной стойкости по потере массы и глубине проникновения коррозионного слоя. Образцы для испытаний цилиндрические, диаметром 9,5 мм, длиной 50 мм. Изготовлено по 16 образцов от высокопрочного проката и от проката из сравниваемой стали. Полный цикл испытаний составил 12 месяцев с промежуточной периодической оценкой коррозионной стойкости через три, шесть и девять месяцев.

Образцы из стали типа 20АТЮ после термической обработки (в т. у. состоянии) имеют структуру интрагранулярного игольчатого феррита. Особенность структуры состоит в хаотичном расположении реек игольчатого феррита внутри зерна.

Таблиця 1

Химический состав исследуемых сталей / Chemical composition of investigated steels

| Марка стали | Содержание, масс. доля, % | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------|---------|-----------|---------|----------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|
| | C | Mn | Si | S | P | Cr | Ni | Cu | Ti | Al | N |
| 20АТЮ | 0,19 | 0,63 | 0,28 | 0,014 | 0,015 | ≤0,18 | ≤0,13 | ≤0,20 | 0,003 | 0,029 | 0,019 |
| 09Г2Д | 0,12 | 1,4–1,8 | 0,17–0,37 | до 0,04 | до 0,035 | до 0,3 | до 0,3 | 0,15–0,3 | Н.д. | Н.д. | Н.д. |

Образование данной структуры объясняется тем, что в качестве центра зарождения рейки выступают частицы карбонитридов, выделившихся при высоких температурах [5; 6]. Структура стали 09Г2Д в горячекатаном (г. к.) состоянии – ферритно-перлитная.

Обработка результатов испытаний осуществлялась по ГОСТ 9.908-85 «Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости» [7] с определением коррозионных потерь в ходе испытаний и средних коррозионных потерь за весь период. Коррозионные потери массы определялись с точностью до четвертого знака. Так, потеря массы стали типа 20АТЮ после трех месяцев испытаний в среднем на 0,013 г (14,9 %) меньше, чем у базовой стали 09Г2Д. При увеличении длительности испытаний до шести месяцев эта разница составляет 0,016 г (12,0 %), до девяти месяцев – 0,037 г (16,2 %). Полный цикл испытаний в течение 12 месяцев показал уменьшение коррозионных потерь массы стали типа 20АТЮ в т. у. состоянии в среднем на 0,0368 г (14,7 %) по сравнению с базовой 09Г2Д в г. к. состоянии (рис. 1).

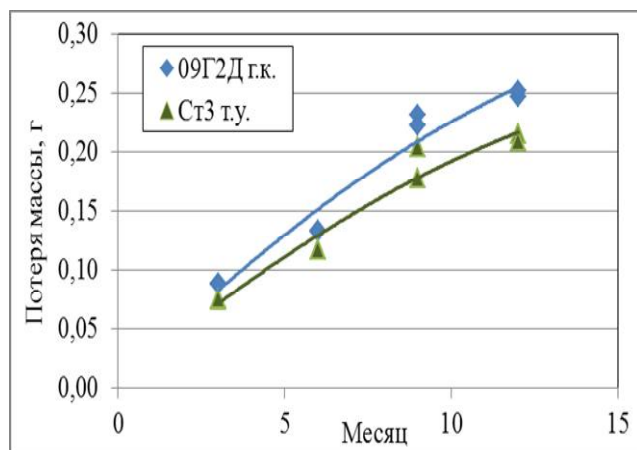


Рис. 1. График зависимости коррозионных потерь массы исследуемых сталей во времени / Fig. 1. Corrosion mass loss investigated steels as a function of time

Металлографический анализ коррозионных повреждений исследованных материалов проводился с помощью светового микроскопа “NEOPHOT-32” для каждого периода испытаний на травленных и нетравленных образцах. Травление позволяет установить взаимосвязь между коррозионным поражением и структурой материала. При этом в плоскости шлифов после каждого цикла испытаний оценивалась глубина коррозионного слоя, соответствующая отдельным минимальным значениям, наиболее характерным и отдельным локальным глубоким повреждениям. Глубину проникновения коррозионного слоя определяли на металлографическом шлифе с помощью окулярной шкалы и микрометрического винта микроскопа. На

рисунках 2 и 3 представлены металлографические снимки травленных образцов сталей 20АТЮ и 09Г2Д, соответственно. Металлографические снимки (рис. 2, 3) соответствуют зонам наиболее глубоких коррозионных повреждений образцов.

При определении глубины проникновения коррозионного слоя исходили из максимальной глубины отдельных локальных поражений за полный цикл испытаний. Согласно полученным данным, глубина проникновения коррозионного слоя образцов из стали типа 20АТЮ составляет 0,17 мм/год, а для стали 09Г2Д – 0,19 мм/год.

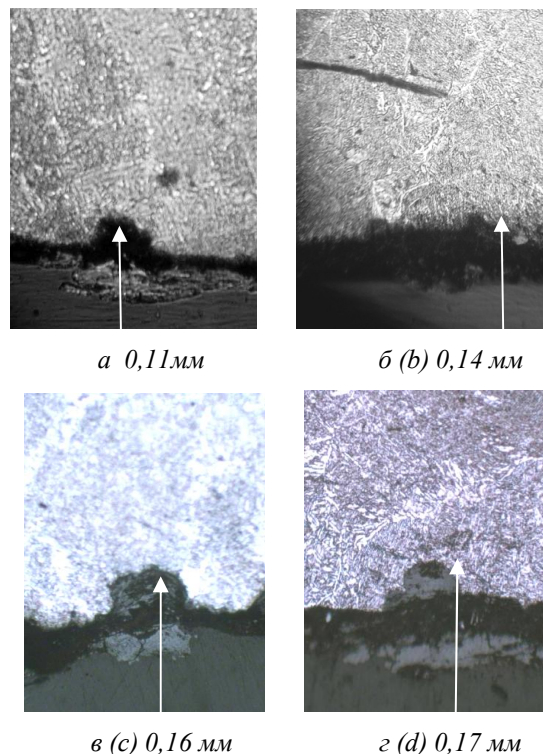
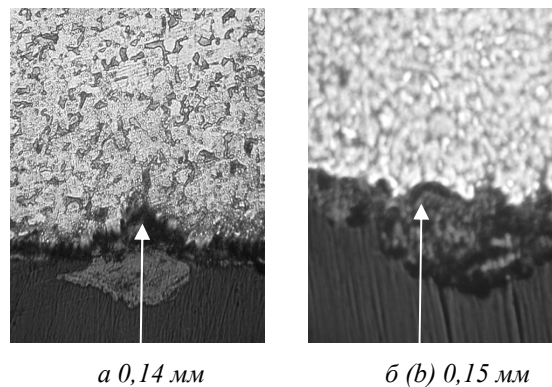
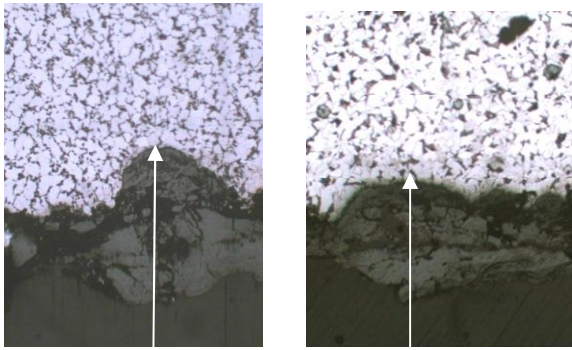


Рис. 2. Металлографические снимки образцов из стали типа 20 АТЮ после коррозионных испытаний, после: а – 3; б – 6; в – 9 и г – 12 месяцев, оптический микроскоп “NEOPHOT-32”, увеличение $\times 100$ / Fig. 2. Results of metallographic analysis of samples 20АТЮ type steel after corrosion test, after: a – 3; b – 6; c – 9 and d – 12 months, light microscope, magnification $\times 100$

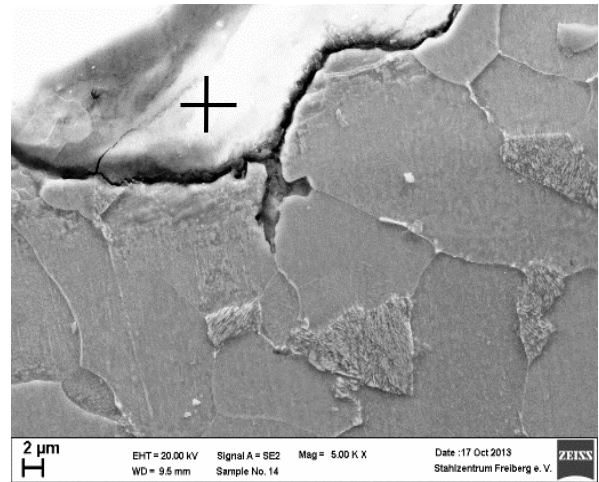




в (c) 0,23 мм

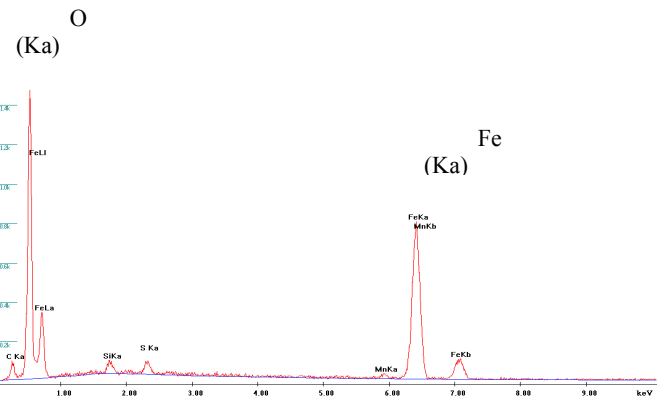
z (d) 0,19 мм

Рис. 3. Металлографические снимки образцов из стали 09Г2Д после коррозионных испытаний, после: а – 3; б – 6; в – 9 и z – 12 месяцев, оптический микроскоп “NEOPHOT-32”, увеличение $\times 100$ / Fig. 3. Results of metallographic analysis of samples 09Г2Д steel after corrosion test, after: a – 3; b – 6; c – 9 and d – 12 months, light microscope, magnification $\times 100$

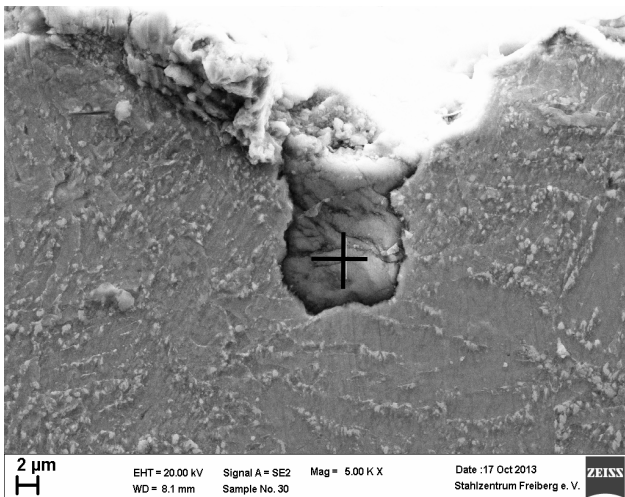


в (c)

F:\branke\2013\BAP\test\131014_Annalgr_14_06.spc

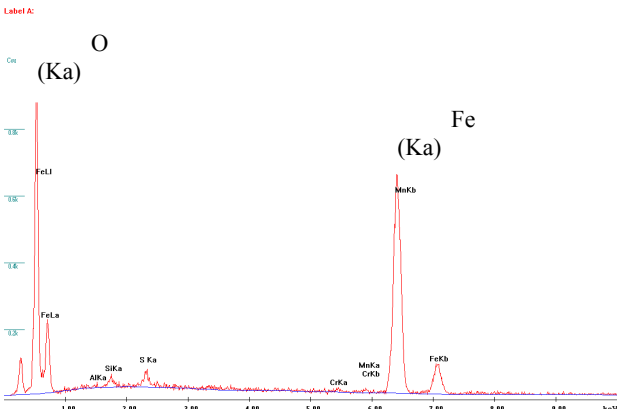


z (d)



a

F:\branke\2013\BAP\test\131014_Annalgr_30_22.spc



б (b)

Рис. 4. а – снимок образца из стали типа 20АТЮ, РЭМ, увеличение $\times 5\ 000$; б – результат EDX-анализа стали типа 20АТЮ; в – снимок образца из стали 09Г2Д, РЭМ, увеличение $\times 5\ 000$; z – результат EDX-анализа стали 09Г2Д / Fig. 4. a – picture of 20АТЮ type steel, SEM, magnification $\times 5\ 000$; b – EDX-analysis of 20АТЮ type steel; c – picture of 09Г2Д steel, SEM, magnification $\times 5\ 000$; d – EDX-analysis 09Г2Д steel

Наличие трещин является особо опасным при динамических нагрузках, которым подвергаются конструктивные элементы вагонов в процессе эксплуатации. В дальнейшем это может привести к усталостному разрушению детали. На образце исследуемой стали типа 20АТЮ (рис. 4 а) на границе матрица – продукты коррозии не было выявлено каких-либо дефектов, подобных трещинам.

Выводы

1. Результаты сравнительных испытаний стойкости к атмосферной коррозии показывают, что, при равных условиях испытаний, показатели коррозионных потерь массы стали типа 20АТЮ в т. у. состоянии на 14,7 % ниже, чем у базовой

атмосферокоррозионностойкой стали 09Г2Д в г. к. состоянии.

2. Показатель глубины проникновения коррозионного слоя т. у. стали 20АТЮ составляет 0,17 мм/год. Аналогичный показатель г. к. стали 09Г2Д составляет 0,19 мм/год, что на 10,5 % выше показателя т. у. стали 20АТЮ.

3. Полученные результаты стойкости к атмосферной коррозии т. у. стали 20АТЮ соответствуют требованиям ПАО «Укрзалізниця».

4. В ходе эксперимента выявлено, что образцы со структурой игольчатого феррита из стали типа 20АТЮ имеют уровень коррозионной стойкости на порядок выше в сравнении с образцами с феррито-

перлитной структурой из стали 09Г2Д. При более детальном обследовании поверхности образцов, подверженных атмосферной коррозии, на образце из стали 09Г2Д были выявлены дефекты в виде микротрещин, которые располагались вдоль границ зерна феррита. Данные дефекты в дальнейшем могут привести к усталостному разрушению деталей вагонов, которое часто является причиной железнодорожных аварий. При обследовании поверхности образцов из стали типа 20АТЮ со структурой интрагранулярного игольчатого феррита подобные трещины не были обнаружены, что еще раз подтверждает эффективность применения сталей, микролегированных алюминием, титаном и азотом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений : справочник / [А. А. Герасименко, А. К. Баталов, Б. В. Бочаров и др.]. – Москва: Машиностроение, 1987. – Т. 2. – 175 с.
2. Большаков В. И. Термическая обработка экономно легированных конструкционных сталей как возможность получения недорогого проката / В. И. Большаков, О. В. Узлов, Ю. А. Ключник, Д. С. Зотов, Л. В. Узлова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2006. – № 2. – С. 27–31.
3. Узлов И. Г. Высокопрочная термически упрочненная микролегированная конструкционная сталь для вагоностроения / И. Г. Узлов, А. В. Пучиков, О. В. Узлов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 2. – С. 51–54. – Режим доступа: <http://www.metaljournal.com.ua/metal-gp2-2013/>
4. ГОСТ 9.909-86. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost19964.html>
5. Uzlov O.V. Investigation of acicular ferrite structure and properties of C–Mn–Al–Ti–N steels / O.V. Uzlov, A. Malchere, V.I. Bolshakov, C. Esnouf // *Advanced Materials Research*. – Switzerland: Trans Tech Publ., 2007. – Vol. 23. – Pp. 209–212. – Режим доступа: <http://www.scientific.net/AMR.23.209>
6. Большаков В. И. Роль нитридов алюминия и карбонитридов титана при получении структуры игольчатого феррита в низколегированных конструкционных сталях / В. И. Большаков, О. В. Узлов, А. В. Пучиков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – № 2. – С. 59–62. – Режим доступа: <http://www.metaljournal.com.ua/mgp-02-2005/>
7. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/12/12469.shtml>

REFERENCES

1. Gerasimenko A.A., Batalov A.K. and Bocharov B.V. *Zaschita ot korrozii, stareniya i biopovregdeniy mashin, oborudovaniya i sooruzheniy: spravochnik* [Protection against corrosion, aging and biodeteriorations of machinery, equipment and buildings]. Moscow: Mechanical Engineering Publ., 1987, vol. 2, 175 p. (in Russian).
2. Bolshakov V.I., Uzlov O.V., Klushnik U.A., Zotov D.S. and Uzlova L.V. *Termicheskaya obrabotka ekonomno legirovannykh konstruktsionnykh staley kak vozmozhnost polucheniya nedorogogo prokata* [Heat treatment sparingly alloyed construction steels as the possibility of obtaining low-cost rolled metal]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgy and heat treatment of metals]. 2006, no. 2, pp. 27–31. (in Russian).
3. Uzlov I.G., Puchikov A.V. and Uzlov O.V. *Visokoprochnaya termicheski uprochnennaya konstruykcionnaya stal dlia vagonostroeniya* [High-strength hardened microalloyed structural steel for car building]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2013, no. 2, pp. 51–54. (in Russian).
4. GOST 9.909-86. *Metalli, splavi, pokritiya metallicheskiye i nemetallicheskiye neorganicheskiye. Metodi ispitaniy na klimaticheskikh ispitatelnykh stanziyah* [Metals, alloys, metallic and non-metallic inorganic coating. Test methods for climatic testing stations]. (in Russian).
5. Uzlov O.V., Malchere A., Bolshakov V.I. and Esnouf C. Investigation of acicular ferrite structure and properties of C–Mn–Al–Ti–N steels. *Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publ., 2007, vol. 23, pp. 209–212.
6. Bolshakov V.I., Uzlov O.V. and Puchikov A.V. *Rol nitridov alyuminiya i karbonitridov titana pri poluchenii struktury igolchatogo ferrita v nizkolegirovannykh konstruyktsionnykh stalyakh* [The role of aluminum nitride and titanium carbonitride in obtaining acicular ferrite structure in a low-alloy structural steels]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2005, no. 2, pp. 59–62. (in Russian).
7. GOST 9.908-85. *Edinaya Sistema zaschiti ot korrozii i stareniya. Metalli i splavi. Metodi opredeleniya pokazatelei korrozii i korrozionnoy stoikosti* [Unified system of corrosion and aging. Metals and alloys. Methods of determining of corrosion rates, and corrosion resistance]. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. В. З. Куцовой (Украина); д-ром техн. наук, проф. В. С. Вахрушевой (Украина).

Поступила в редколлегию 10.05.2016. Принята к печати 12.05.2016