НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 620.18.187

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПЕРСПЕКТИВНИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

БОЛЬШАКОВ В. І.[1*], *д. т. н., проф.,*
ДРОЖЕВСЬКА Г. В.[2*], *асп.,*
УЗЛОВ О. В.[3*], *к. т. н., доц.,*
ПУЧІКОВ О. В.[4*], *наук. співроб.*
[1*] Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, 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, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 746-93-72, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X
[3*]Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 746-93-72, e-mail: uzlov@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576
[4*] Інститут чорної металургії НАН України, пл. Стародубова, 1-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 776-90-13, e-mail: puchikov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4119-6399

Анотація. ***Постановка проблеми***. Світова економіка щорічно зазнає великих втрат унаслідок корозійного зносу конструкцій та транспортних машин. У деяких країнах збитки від корозії досягають кількох відсотків від ВВП. Розроблення новітніх матеріалів із підвищеною корозійною стійкістю дуже актуальне в наш час. Нанесення лакофарбових покриттів не забезпечує належного захисту від корозії у випадку абразивного контакту вантажу із захисним матеріалом (вантажні вагони для перевезення насипних матеріалів). ***Мета статті.*** Провести дослідження корозійної стійкості розробленого новітнього матеріалу для вагонобудування. Порівняти отримані результати з корозійною стійкістю масової вагонної сталі 09Г2Д. ***Висновки.*** Проведені порівняльні дослідження показали, що корозійна стійкість перспективної сталі типу 20АТЮ на 10% вища порівняно зі сталлю 09Г2Д. Наведено перспективність упровадження нової економнолегованої конструкційної сталі.

Ключові слова: *корозійна стійкість, високоміцний металопрокат, вагонобудування, атмосферна корозія, голчастий ферит.*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.[1*], *д. т. н., проф.,*
ДРОЖЕВСКАЯ Г. В.[2*], *асп.,*
УЗЛОВ О. В.[3*], *к. т. н., доц.,*
ПУЧИКОВ О. В.[4*], *науч. сотр.*
[1*]Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 745-23-72, 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, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 745-23-72, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X
[3*]Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 745-23-72, e-mail: uzlov@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576
[4*]Институт черной металлургии, НАН Украины, пл. Стародубова, 1-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 776 90-13, e-mail: puchikov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4119-6399

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Мировая экономика несет большие ежегодные потери вследствие коррозионного износа конструкций и транспортных машин. В некоторых странах потери от коррозии достигают нескольких процентов от ВВП. Разработка новых материалов с повышенной коррозионной стойкостью

весьма актуальна в настоящее время. Нанесение лакокрасочных покрытий не обеспечивает надлежащей защиты от коррозии в случае абразивного контакта груза с защищаемым материалом (грузовые вагоны для перевозки сыпучих материалов). ***Цель статьи.*** Провести исследования коррозионной стойкости разработанного нового материала для вагоностроения.Сравнить полученные результаты с коррозионной стойкостью массово применяемой в вагоностроении стали 09Г2Д. ***Вывод.*** Проведенные сравнительные исследования показали, что коррозионная стойкость перспективной стали типа 20АТЮ на 10% выше по сравнению со сталью 09Г2Д. Показана перспективность внедрения новой экономнолегированной конструкционной стали.

Ключевые слова: *коррозионная стойкость, высокопрочный металлопрокат, вагоностроение, атмосферная коррозия, игольчатый феррит.*

STUDY OF CORROSION RESISTANCE OF PERSPECTIVE LOW-ALLOY STRUCTURAL STEELS

BOLSHAKOV V. I. *, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
DROZHEVSKA G. V. *, *Postgraduate,*
UZLOV O. V.* , *Cand. Sc. (Tech)., Assoc.Prof.,*
PUCHIKOV A. B.* , *Researcher*.

[1*] Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

[2*] Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 746-93-72, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

[3*] Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 746-93-72, e-mail: uzlov@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

[4 *] Institute of Ferrous Metallurgy, NAS of Ukraine, pl. Starodubova first, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine Tel. +38 (056) 776-90-13, e-mail: puchikov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4119-6399

Summary. ***Problem statement.*** World economy suffers great annual losses due to corrosion deterioration of structures and vehicles. In some countries, losses from corrosion reach several percent of GDP. Development of new materials with increased corrosion resistance is highly relevant in the present time. Application of lacquer coatings do not provide adequate protection from corrosion in the event of abrasive contact of cargo with the protected material (freight wagons for the transport of bulk cargo). Purpose. Conduct the study of corrosion resistance of the new material developed for car building. Compare the results with the corrosion resistance of mass used in car building steel 09G2D. *Conclusion* Comparative studies have shown that the corrosion resistance of the perspective steel type 20ATYU is 10% higher compared to steel 09G2D. It was shown prospects of introduction of new economical-alloy structural steel.

Keywords: *corrosion resistance, high strength metal, railway, atmospheric corrosion, acicular ferrite.*

Вступ. Розвиток народного господарства великою мірою визначається виробництвом металів і сплавів, які є основними конструкційними матеріалами для створення різного устаткування, машин, приладів, будівельних конструкцій тощо. Рівень виробництва металів характеризує індустріальний потенціал кожної країни. Існують дані, що за рік у результаті корозії приблизно 20% виробів із металів стають непридатними і їх направляють на переплавку. Таким чином, значна частина виробничих потужностей металургії повинна працювати на заповнення втрат металу від корозійного руйнування.

Роль корозійних досліджень визначається трьома аспектами.

Перший з них – економічний. Економічні втрати від корозії металів у промислово розвинених країнах досягли в даний час значних розмірів. У США, за останніми даними NACE, збитки від корозії та відрахування на боротьбу з нею складають 3,1% від ВВП (387 млрд дол.), у Німеччині – 2,8 % від ВВП. Тому завдання зменшення матеріальних втрат у результаті корозії трубопроводів, посудин під тиском, котлів, теплообмінного обладнання, резервуарів (баків), деталей машин, суден, мостів, морських конструкцій і тощо вкрай важливе [1].

Другий аспект – підвищення надійності обладнання, яке в результаті корозії може руйнуватися з катастрофічними наслідками , наприклад посудини високого тиску, парові котли, металеві контейнери для токсичних матеріалів, лопатки і ротори турбін, мости, деталі літаків і автономні автоматизовані

механізми. Надійність – найважливіша умова у розробленні обладнання для енергетичних об'єктів, ТЕС, АЕС і систем захоронення радіоактивних відходів.

Третій аспект – це збереження металевого фонду. Світові ресурси заліза обмежені, а втрати металу через корозіюспричинюють, крім того, додаткові витрати енергії та води. Не менш важливо, що людська праця, яка витрачається на проектування та реконструкцію металевого обладнання, постраждалого від корозії, може бути спрямована на виконання інших суспільно корисних завдань.

Розроблення та практичне використання ефективних засобів протикорозійного захисту дозволяють не тільки зменшити втрати металу і коштів, а й знизити металоємність конструкцій і споруд, збільшити їх вантажопідйомність, зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів у процесі будівництв та експлуатації, збільшити експлуатаційний період і в цілому зменшити собівартість і підвищити рентабельність об'єктів техніки.

Антикорозійний захист металевих конструкцій вагонів має велике значення у зв'язку з особливостями умов їх експлуатації (використання вагонів у різних кліматичних зонах із великими перепадами температур і вологості, вплив атмосфери індустріальних районів, специфіка вантажів тощо).

Таблиця 1

Швидкість корозії металу і довговічність покриттів основних елементів піввагонів

Елемент	Середня швидкість корозії, мм/рік	Середня довговічність покриттів, роки
Внутрішня поверхня обшивки	0,2	0,5
Внутрішня поверхня люків	0,2	0,1
Двотавр хребтової балки	0,1	2,0
Накладки, вертикальні листи	0,2	2,0
Внутрішня поверхня	0,2	2,0
Верхня поверхня горизонтального листа	0,2	0,8

Основні елементи вантажних вагонів виготовляють головним чином із низьколегованих сталей з гарантованим складом міді (09Г2Д, 09Г2СД, 10Г2С1Д, 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП)[2].

У розробленні практичних заходів захисту від корозії велика увага приділяється обстеженням стану та оцінюванню швидкості корозії окремих деталей конструкцій та рухомого складу і зіставленню отриманих даних із конструктивними особливостями та умовами роботи цих деталей (в першу чергу – корозійними факторами і напруженнями, що діють на них). Швидкість корозії металу різних елементів рами і кузова піввагонів і довговічність покриттів наведено в таблиці 1[2].

Швидкість корозії бокової обшивки під час експлуатації в нормальних умовах становить 0,1 мм/рік. Тому працездатність обшивки з вихідною товщиною 4,5 ... 5,0 мм забезпечується практично протягом усього встановленого терміну служби. Однак під час використання піввагонів для перевезення гарячого агломерату швидкість корозії зростає до 0,2 ... 0,3 мм/рік, і через 10...12 років товщина металевої обшивки зменшується до 1,5 ... 2,0 мм, що зумовлює необхідність заводського ремонту. Двотавр хребтової балки і діафрагми замінюють через 14...18 років експлуатації внаслідок наскрізних пошкоджень і відривання кришок люків [2]. Але в умовах агресивного середовища ці строки значно скорочуються. Так, наприклад, через десять років експлуатації вагонів за дії високих температур вантажу, кліматичних умов та інших факторів в огороджувальних елементах вагона з'явилися корозійні дірки діаметром від 50 до 200 мм (див. рис. 1, 2).

Рис.1. Дія атмосферної корозії на огороджувальні елементи вагонів

Рис.2. Приклад значних корозійних пошкоджень огороджувальних елементів вантажних напіввагонів

Як випливає з наведених прикладів, подолання проблеми корозійного руйнування, попередження згубного впливу навколишнього середовища не може бути ефективно вирішене використанням лише сталі 09Г2Д, існує тому нагальна потреба в розробленні нових матеріалів для вагонобудування, зокрема з, підвищеною корозійною стійкістю.

Ця стаття присвячена експериментальному дослідженню корозійної стійкості новітнього матеріалу для вагонобудування порівняно з класичною сталлю 09Г2Д, яка застосовується у вагонобудуванні протягом багатьох років.

Матеріал та методика досліджень. Тривалі випробування здійснювалися на лабораторній базі ІЧМ НАНУ відповідно до вимог ГОСТ 9.909 «Єдина система захисту від корозії і старіння. Метали, сплави, покриття металеві та неметалеві неорганічні. Методи випробувань на кліматичних випробувальних станціях» і ГОСТ 9.905 «Методи корозійних випробувань. Загальні вимоги». Як базовий матеріал обрано масово вживану сталь 09Г2Д, порівняно з якою випробовується гарячекатана модифікована сталь 20АТЮ. Хімічний склад досліджених сталей наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Хімічний склад досліджених сталей

Сталь	% по масі										
	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	≤0,04	≤0,035	≤0,3	≤0,3	0,15-0,3	-	-	-

09Г2Д – сталь конструкційна, низьколегована для зварних конструкцій виробляється згідно з ГОСТ 19281.

20АТЮ – сталь модифікована конструкційна низьколегована, звичайної якості. Освоєна в промислових масштабах як заміна ванадію в вуглецевих і низьколегованих сталях з карбонітридним зміцненням на титан й алюміній, у порівнянні з ванадійвмісними, є більш високий комплекс експлуатаційних характеристик Освоєна в промислових масштабах як заміна ванадію в вуглецевих і низьколегованих сталях з карбонітридним зміцненням на титан й алюміній. у порівнянні з ванадійвмісними, є більш високий комплекс експлуатаційних характеристик при зниженні витрат на дорогі нітридотвірні та легуючі матеріали [3; 4].

Рис.3. Растровий електронний мікроскоп Karl Zeiss з EDX+WDX детектором EDAX.

Для вимірювання втрати ваги зразками застосовували аналітичні ваги, атестовані за УкрСЕПРО. Для вивчення структури застосовували оптичний мікроскоп Neophot 21 та сканувальний електронний мікроскоп Karl Zeiss.

Технічні характеристики растрового електронного мікроскопа високої роздільної здатності Karl Zeiss:

– роздільна здатність – 1 нм;

– збільшення до – 900 000 разів;

– EDX + WDX детектор фірми EDAX із розрізненням кисню, азоту та вуглецю;

– Pt –катод в ZrO трубці,

– мультирежимний STEM детектор для аналізу тонких шарів;

– можливість аналізу хімічного складу і розподілу часток за розміром у матриці.

Зразки для досліджень.Для досліджень зразки металу запресовували в спеціальну струмопровідну пластмасу, шліфували і полірували. Також можна досліджувати зразки після оптичних випробувань, запресовані у звичайну пластмасу. Для цього необхідно нанести на поверхню зразка платинове напилення 1 нм і, встановлюючи в мікроскоп, приклеїти мідну плівку одним кінцем до поверхні зразка, а іншим – до металевої підставки для проведення струму.

Експериментальні результати дослідження стійкості проти атмосферної корозії нового високоміцного прокату

Дослідження стійкості проти атмосферної корозії нового високоміцного прокату для основних ностійних та огороджувальних елементів вагона здійснювали відповідно до раніше розробленої програми й методики проведення даного виду випробувань та з урахуванням вимог ОСТ 32.153-2000. Метою досліджень було оцінювання оптимальності, з точки зору корозійної стійкості, хімічного складу і структурного стану термічно зміцненого високоміцного прокату [5].

Випробування проводили на зразках високоміцного прокату 20АТЮ порівняно з базовою атмосферокорозійнностійкою сталлю 09Г2Д. Сутність випробувань полягала в експонуванні зразків в атмосферних умовах з подальшим оцінюванням їх корозійної стійкості за втратою маси і зміною зовнішнього вигляду порівняно зі зразками –

свідками. Вимоги до форми, розмірів та кількості зразків за ГОСТ 9.908-85 «Метали і сплави. Методи визначення показників корозії і корозійної стійкості». Зразки для випробувань циліндричні, діаметром 9,5 мм, довжиною 50 мм. Виготовлено по 16 зразків від високоміцного прокату і з прокату із стандартної сталі (зразки-свідки). Повний цикл випробувань склав 12 місяців із проміжною періодичною оцінкою корозійної стійкості через три, шість і дев'ять місяців. Підготовка зразків до випробувань включала вимірювання їх геометричних параметрів, зважування з точністю до 0,0001 г. Під час випробувань зразки встановлювали на стенді в умовах промислової атмосфери, на відстані не менше 500 мм від даху навісу.

Таблиця 3

Результати корозійних випробувань досліджених сталей

№ зразка	Період дослід., міс.	Марка сталі, стан	Діаметр початковий, мм	Початкова довжина, мм	Маса початкова, г	Маса кінцева, г	Втрата маси, г
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	09Г2Д г.к.	9,41	51,2	27,7744		
2	0	09Г2Д г.к.	9,43	51,12	27,7367		
3	0	09Г2Д г.к.	9,42	51,16	27,6236		
4	0	09Г2Д г.к.	9,35	51,23	27,4404		
5	3	09Г2Д г.к.	9,35	49,2	26,242	структурний аналіз	
6	3	09Г2Д г.к.	9,47	51,36	27,9171	27,8278	0,0893
7	3	09Г2Д г.к.	9,44	50,98	27,7344	27,6459	0,0885
8	6	09Г2Д г.к.	9,46	50,97	27,8326	структурний аналіз	
9	6	09Г2Д г.к.	9,43	51,89	27,9517	27,8182	0,1335
10	6	09Г2Д г.к.	9,43	51,03	27,7428	27,6087	0,1341
11	9	09Г2Д г.к.	9,42	51,02	27,5672	структурний аналіз	
12	9	09Г2Д г.к.	9,42	51,27	27,7158	27,4835	0,2323
13	9	09Г2Д г.к.	9,4	50,84	27,4874	27,2643	0,2231
14	0	20АТЮ	9,46	52,05	28,4895		
15	0	20АТЮ	9,46	50,23	27,4928		
16	0	20АТЮ	9,47	51,31	27,8541		
17	0	20АТЮ	9,4	52,01	28,331		
18	3	20АТЮ	9,46	51,66	28,2618	структурний аналіз	
19	3	20АТЮ	9,46	50,68	27,7789	27,7036	0,0753
20	3	20АТЮ	9,41	51,76	28,2736	28,1978	0,0758
21	6	20АТЮ	9,46	51,9	28,2743	структурний аналіз	
22	6	20АТЮ	9,41	50,53	27,428	27,3098	0,1182
23	6	20АТЮ	9,46	51,93	28,4424	28,3252	0,1172
24	9	20АТЮ	9,47	52,73	28,635	структурний аналіз	
25	9	20АТЮ	9,48	51,25	28,0496	27,8721	0,1775
26	9	20АТЮ	9,47	52,49	28,8534	28,6493	0,2041

Обробку результатів випробувань здійснювали за ГОСТ 9.908-85 «Метали і сплави. Методи визначення показників корозії і корозійної стійкості»з визначенням корозійних втрат у процесі випробувань і середніх корозійних втрат за весь період, а також із додатковим металографічним оцінюванням глибини локальної корозії.

Результати порівняльних корозійних випробувань матеріалів зі структурою голчастого фериту, термічно зміцненого стану і традиційною феритно-перлітною структурою гарячекатаного стану наведено в таблиці 3.

Корозійні втрати маси, що визначаються з точністю до четвертого знака, високоміц-

ного матеріалу після випробувань протягом трьох місяців у середньому на 14,9% менші, ніж у базової атмосфернокорозійностійкої сталі. У випадку збільшення тривалості випробувань до шести місяців ця різниця становить 12,0%, до дев'яти місяців – 16,2%. Повний цикл випробувань протягом 12 місяців показав зменшення корозійних втрат маси термічно зміцненої сталі в середньому на 14,7%. Графічно зміну корозійних втрат маси порівнюваних матеріалів показано на рисунку 4.

Металографічний аналіз корозійних пошкоджень досліджених матеріалів проводили за допомогою світлового мікроскопа NEOPHOT-32 для кожного періоду випробувань на травлених і нетравлених зразках. При цьому в площині шліфів після кожного циклу випробувань оцінювали глибину корозійного шару, відповідну окремим мінімальним значенням, найбільш характерним і окремим локальним глибоким пошкодженням.

Дані металографічного аналізу досліджених матеріалів за кожен цикл випробувань наведено на рисунках 5–12.

Визначаючи швидкість корозії, виходили з максимальної глибини окремих локальних ушкоджень за повний цикл випробувань. За цим критерієм швидкість атмосферної корозії високоміцного матеріалу зі структурою голчастого фериту оцінюється величиною 0,17 мм/рік. Аналогічний показник гарячекатаної феритно-перлітної структури стали 09Г2Д становить 0,19 мм/рік.

Оцінивши результати порівняльних випробувань, можна зробити висновок, що завсіх рівних умов випробувань швидкість атмосферної корозії високоміцного термічно зміцненого матеріалу як мінімум на 10 % нижча, ніж у серійної сталі 09Г2Д підвищеної стійкості проти атмосферної корозії.

У ході дослідів на растровому електронному мікроскопі Karl Zeiss проведено EDX аналіз кородованих поверхонь. Отриманий результат підтвержує, що під час протікання корозії утворюється вюстит (див. рис. 9, 10).

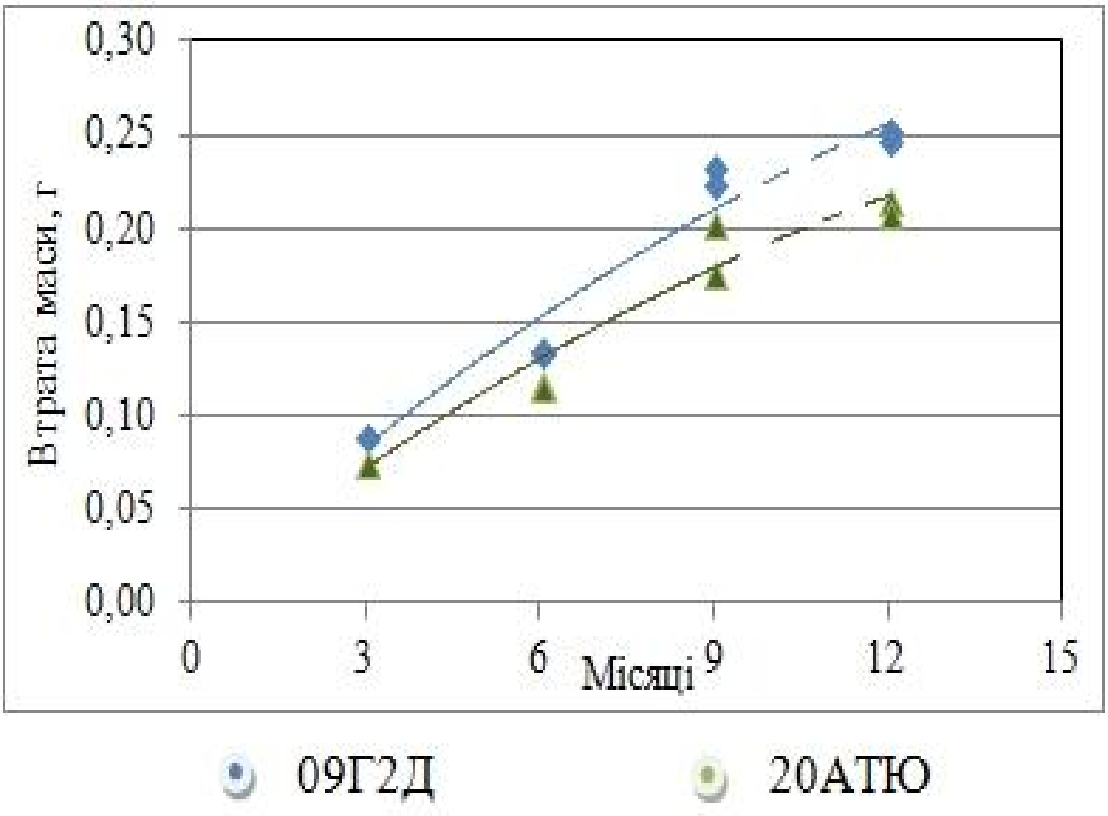


Рис. 4. Корозійна втрата маси порівнюваних матеріалів протягом випробувань

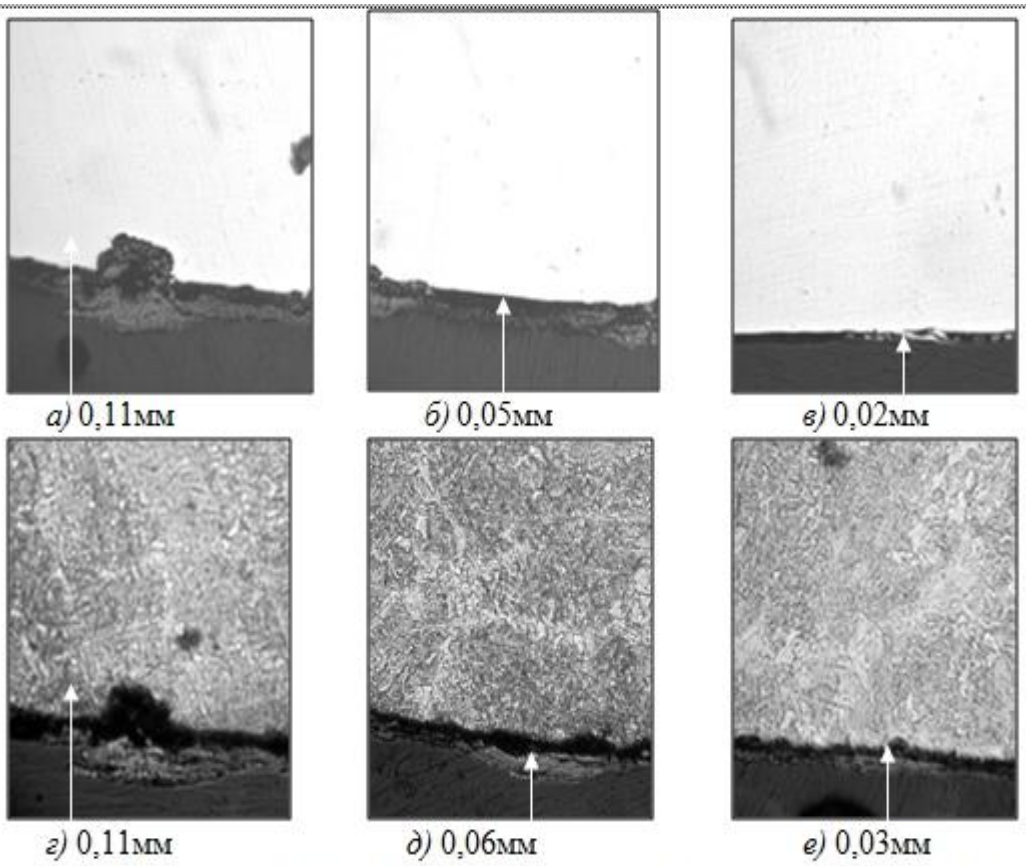


Рис. 5. 20АТЮ, а, б, в – до травленн; г, д, е – після травлення, 3 міс. ×100

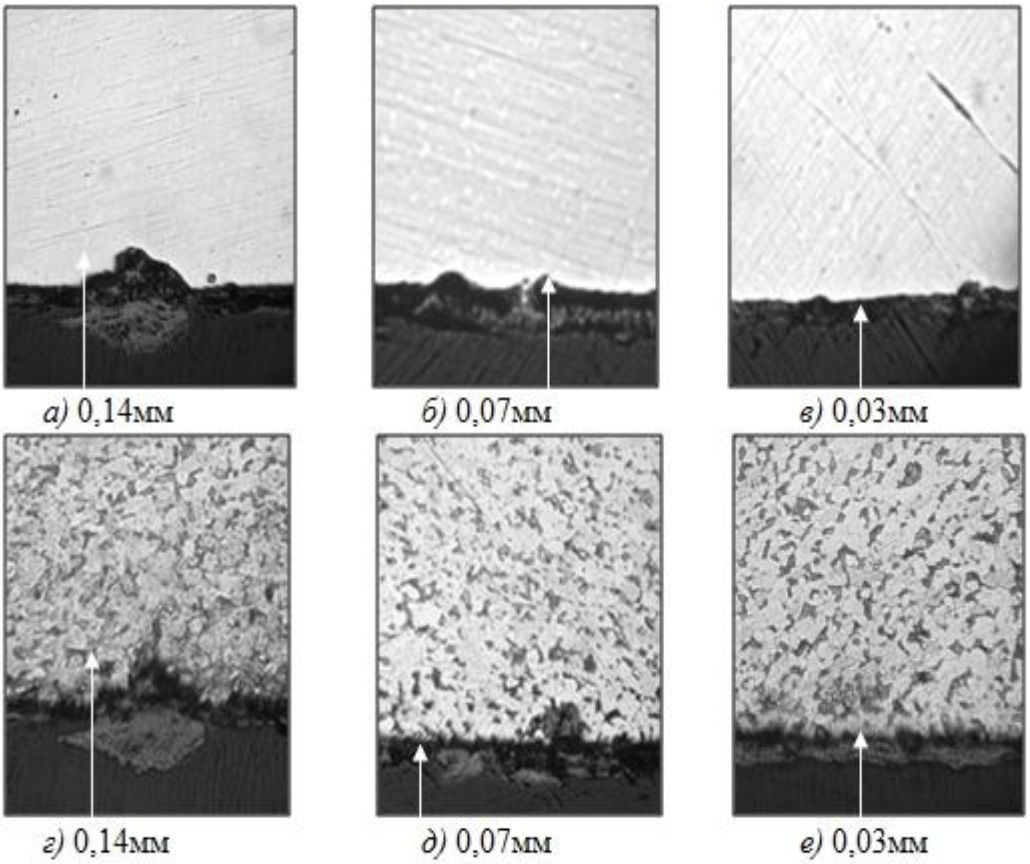
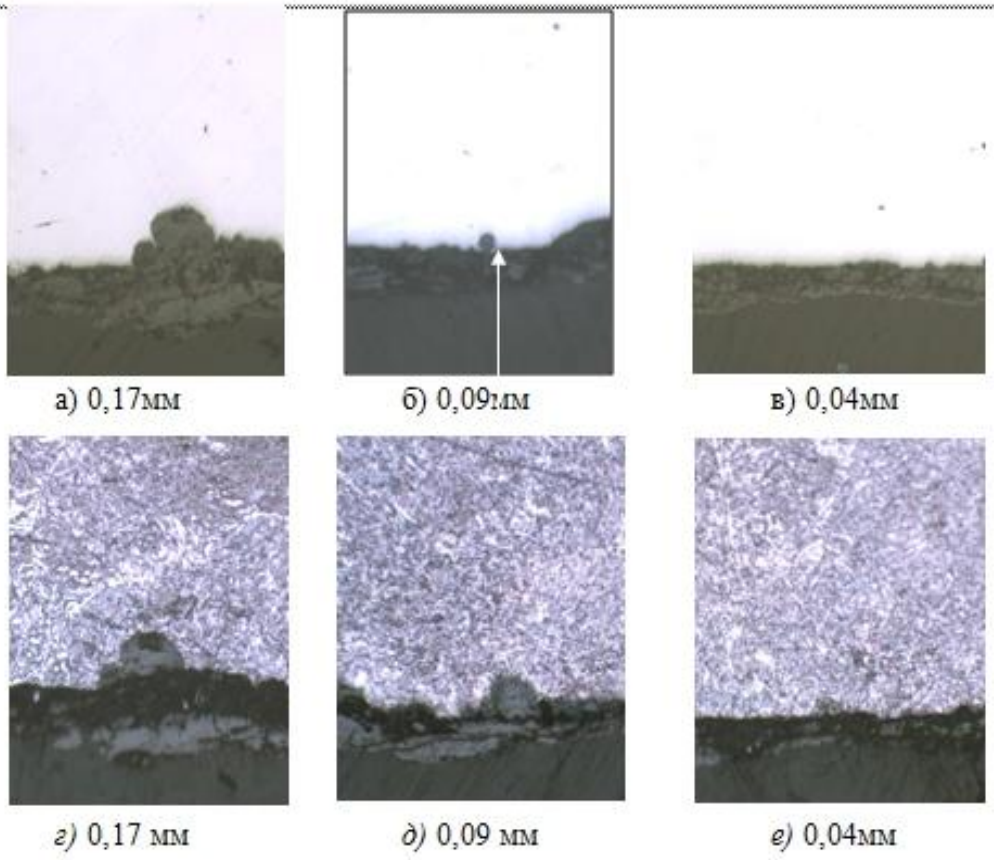


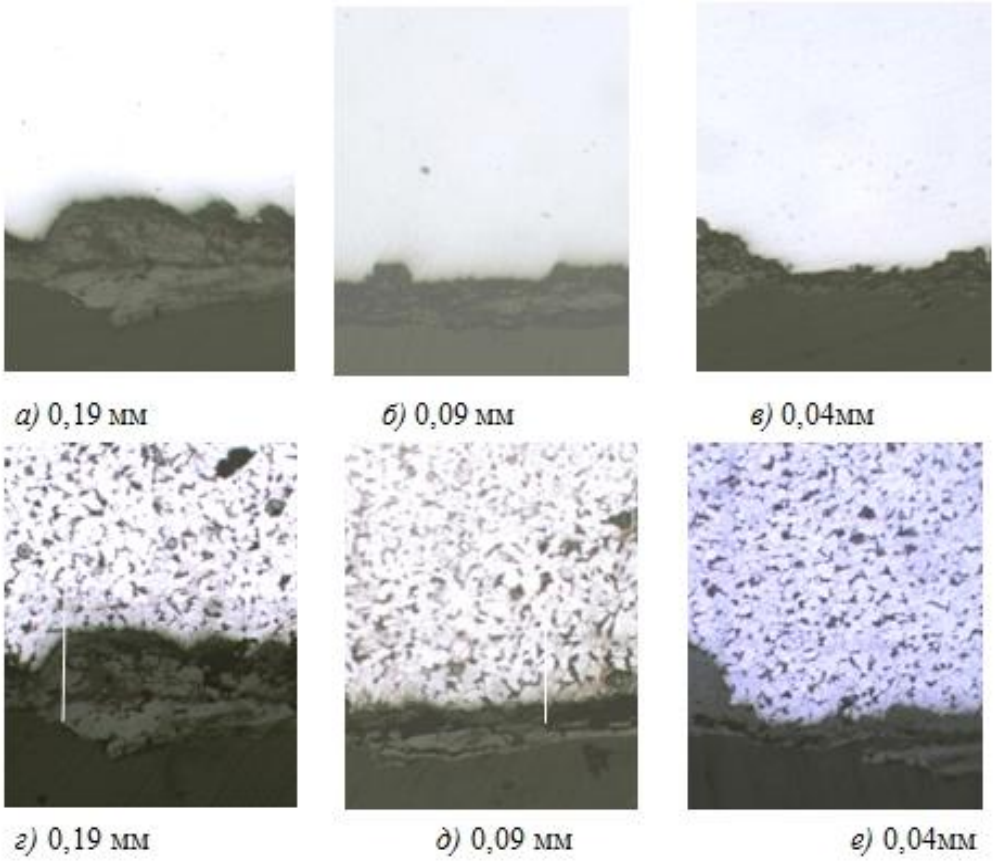
Рис. 6. Сталь 09Г2Д, г/к а, б, в – до травлення; г, д, е – після травлення, 3 міс. ×100



а) 0,17мм б) 0,09мм в) 0,04мм

г) 0,17 мм *д)* 0,09 мм *е)* 0,04мм

Рис. 7. 20АТЮ, а, б, в – до травлення; г, д, е – після травлення, 12 міс. ×100



а) 0,19 мм *б)* 0,09 мм *в)* 0,04мм

г) 0,19 мм *д)* 0,09 мм *е)* 0,04мм

Рис. 8 – Сталь 09Г2Д, а, б, в – до травлення, г, д, е – після травлення, 12 міс. ×100

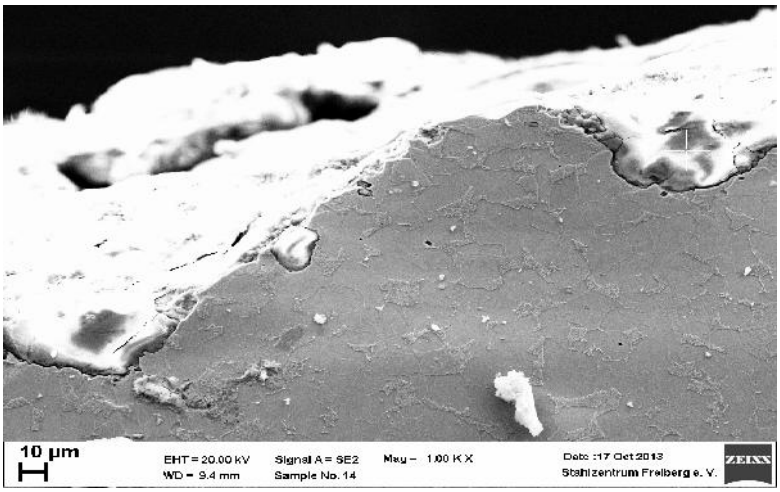


Рис. 9. Поверхня зразка після корозійного пошкодження

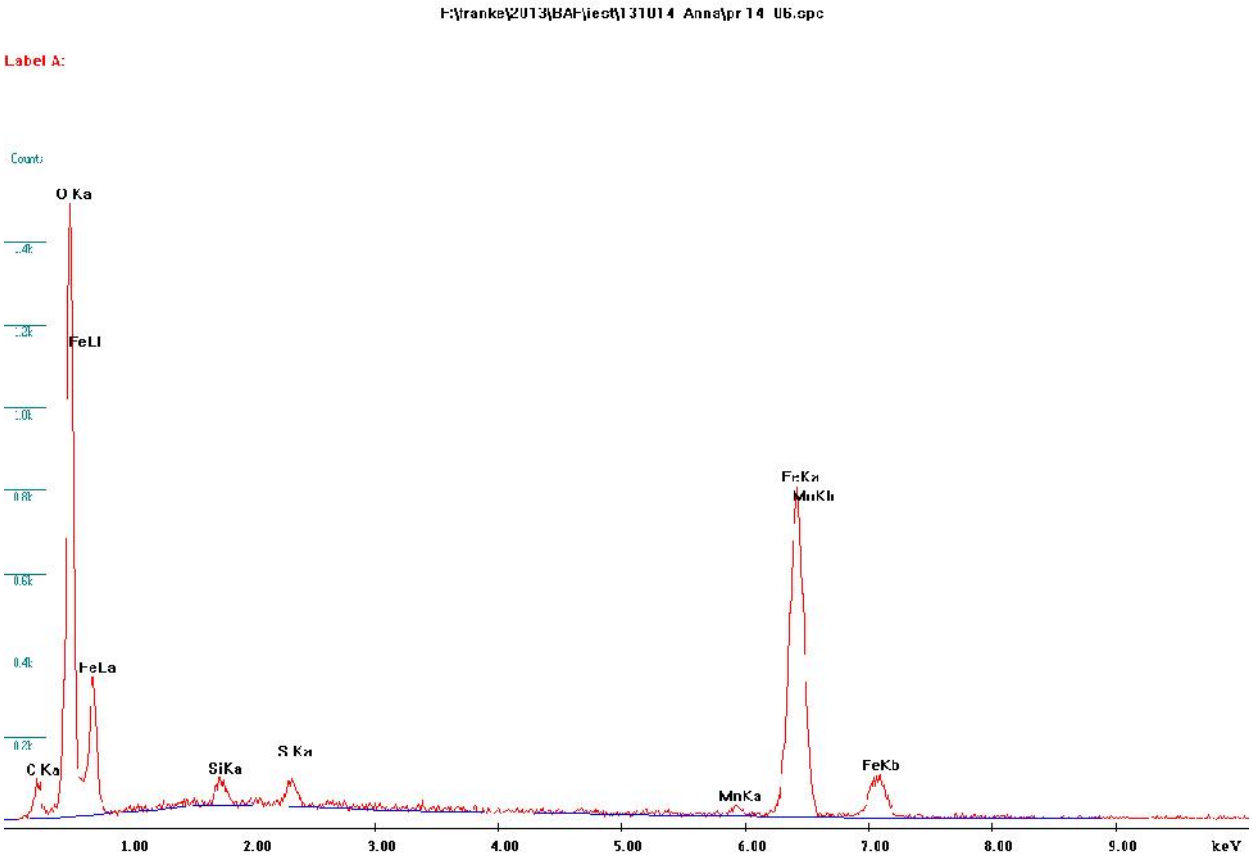


Рис. 10. EDX аналіз корозійно пошкодженої поверхні зразка

Висновки. Проблема корозії залишається актуальною у процесі експлуатації металевих конструкцій. Майже кожного дня стаються незначні аварії та майже що року відбуваються техногенні катастрофи. Це викликає значні фінансові втрати та призводить до загибелі людей. Саме тому сили науковців спрямовані на розроблення методів захисту металевих конструкцій від корозії. Наразі день застосовують різні сучасні способи, але найпопулярнішими залишаються методи обмеження взаємодії металу з корозійним середовищем на межі поверхні. Використання лакофарбових покриттів значно спрощує процес захисту металевої поверхні від корозії. Але насправді захист від корозії тільки на 20% залежить від якості використовуваних лакофарбових матеріалів і способу їх нанесення. Адже у процесі експлуатації вагона матеріали вантажу починають ві-

дігравати роль абразиву. Нерівні поверхні (шлаків, вугілля, коксу) знімають захисний шар тертям. Нерідко вагон навантажують гарячими матеріалами, які ще не встигли остудитися, тоді за дії високих температур захисний шар починає вступати у хімічну реакцію. Немалу роль відіграють клімат і навколишнє середовище. Покриттям доводиться працювати у різних кліматичних умовах, оскільки, здійснюючи перевезення, вагон може перебувати у різних кліматичних поясах, отож забезпечити довговічність такого захисту неможливо. Тому вкрай важливо змусити сам матеріал, з якого виготовлено несійні конструкції вагона,опиратися корозійному руйнуванню. Результати порівняльних випробувань показують, що,за всіх рівних умов випробувань, швидкість атмосферної корозії високоміцного термічнозміцненого матеріалу на 10% нижча, ніж у серійної сталі 09Г2Д підвищеної стійкості проти атмосферної корозії.

Корозійні втрати маси, визначені з точністю до четвертого знака, високоміцного матеріалу після випробувань протягомтрох місяців,у середньому на 14,9 % менші, ніж у базової атмосферокорозійностійкої сталі. У разі збільшення тривалості випробвань до шести місяців ця різниця складає 12,0%, до дев'яти – 16,2%. Повний цикл випробувань протягом 12 місяців показав зменшення корозійних втрат маси сталі 20АТЮ в середньому на 14,7%.

Визначаючи швидкість корозії, за результат приймали максимальну глибину окремих локальних пошкоджень за повний цикл випробувань. За цим критерієм швидкість атмосферної корозії високоміцного матеріалу зі структурою голчастого фериту оцінюється величиною 0,17 мм/рік. Аналогічний показник гарячекатаної феритно-перлітної структури сталі 09Г2Д складає 0,19 мм/рік.

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити висновок про більш високу корозійну стійкість нового високоміцного прокату порівняно з існуючою атмосферокорозійностійкою сталлю 09Г2Д. З урахуванням підвищеного комплексу властивостей сталі 20АТЮ порівняно з 09Г2Д [6–10] можна зробити висновок про перспективність застосування сталі 20АТЮ для виробництва вагонів нового покоління.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Антипов В. В. Перспективные технологии для защиты от коррозии / В. В. Антипов // Перспективные технологии для защиты от коррозии авиационной техники : науч. конф. (Москва, 27 апр. 2014 г.) / Всерос. науч.-исслед. ин-т авиационных мат-лов. – Режим доступа: http://conf.viam.ru/.
2. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений : справочник : в 2 т. Т. 1. / под ред. А. А. Герасименко. – Москва : Машиностроение, 1987. – 688 с. – Режим доступа: http://techlib.org/books/zashhita-ot-korrozii-gerasimenko-t2/.
3. Investigation of acicular ferrite structure and properties of C-Mn-Al-Ti-N steels / O. Uzlov, A. Malchere, V. Bolshakov, C. Esnouf // Advanced Materials Research. – 2007. – Vol. 23. – P. 209-212. – Mode access: www.scientific.net/AMR.23.209.pdf.
4. Uzlov O. Investigation of acicular ferrite structure in HSLA steel / O. Uzlov, V. Bolshakov // Proceedings of the "Materials Week 2002". – Frankfurt : Werkstoff-Informationsgesellschaft, 2002. – Mode access: www.irbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis_64.exe?
5. ОСТ 32.153-2000. Металлопрокат для кузовов грузовых вагонов нового поколения. Технические требования. – Режим доступа: http://www.diit.edu.ua/sites/niss/ua/ResearchInstitute/uk/state_standard.htm.
6. Investigation of fatigue properties of constructional steels with different alloying systems / I. Tarasova, V. Bolshakov, O. Uzlov, L. Uzlova // Proceedings of 19th ISDM Conference, 2012, Freiburg. – Mode access: www.metallurgiestudenten.de/index.php/isdm.
7. Madariaga I. Acicular ferrite formation in a medium carbon steel with a two stage continuous cooling / I. Madariaga, I. Gutierrez et. al. // Scripta Materialia. – 1999. – Vol. 41. № 3. – P. 229-235. – Mode access: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646201010831.
8. Rodriguez-Ibabe J. M. // Materials Science Forum 284-286. – 1998. – P. 51-62. – Mode access: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X98800655.

9. Prasad S. N. Influence of austenitisation temperature on the structure and properties of weather resistant steels / S. N. Prasad, S. R. Mediratta, D. S. Sarma //Materials Science and Engineering. – 2003 – P. 288-297. – Mode access: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509303003034.
10. Lis Andrzej K. Mechanical properties and microstructure of ULCB steels affected by thermomechanical rolling, quenching and tempering / Andrzej K. Lis // Journal of Materials Processing Technology – 2000. – Vol. 106. – P. 212-218. – Mode access :http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013600006166.

REFERENCES

1. Antipov V. V. *Perspektyvnye tekhnologii dlya zashchity ot korrozii* [Advanced technologies for protection against corrosion]. *Nauchnaya konferentsiya «Perspektivnye tekhnolohii dlya zashchity ot korrozii aviatsionnoy tekhniki»* – Scientific conference “Advanced technologies for corrosion protection of aviation techniques”. All Russian scientific and research institute of aviation materials. Moscow, 2014. Available at: http://conf.viam.ru/. (in Russian).
2. Gerasimenko A. A. *Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniy mashyn, oborudovaniya i sooruzheniy* [Protection against corrosion, aging, and biodegradation of machinery, equipment and buildings]. *Spravochnik* – Reference book v 2 t. Moscow, Mashinostroenie, 1987. Available at: http://techlib.org/books/zashhita-ot-korrozii-gerasimenko-t2/. (in Russian).
3. Uzlov O., Malchere A., Bolshakov V., Esnouf C. Investigation Of Acicular Ferrite Structure And Properties Of C-Mn-Al-Ti-N Steels. Advanced Materials Research. 2007, vol. 23, pp. 209-212. Available at:www.scientific.net/AMR.23.209.pdf
4. Uzlov O., Bolchakov V. Investigation of Acicular Ferrite Structure in HSLA Steel. "MATERIALS WEEK 2002 - Proceedings", Ed. Werkstoffwoche-Partnerschaft GbR, Publisher: Werkstoff-Informationsgesellschaft, Frankfurt, 2002. Available at: www.irbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis_64.exe?.
5. OST 32.153-2000 *Metalloprokat dlya kuzovov gruzovykh vagonov novogo pokoleniya. Tekhnicheskie trebovaniya* [Industry standart 32.153-2000 Metal for bodies of freight wagons of a new generation. Technical requirements]. Available at: http://www.diit.edu.ua/sites/niss/ua/ResearchInstitute/uk/state_standard.htm. (in Russian).
6. Tarasova I., Bolshakov V., Uzlov O., Uzlova L. Investigation of Fatigue Properties of Constructional Steels with Different Alloying Systems. Conference Proceedings of 19th ISDM Freiberg 2012. Available at: www.metallurgiestudenten.de/index.php/isdm
7. Madariaga I., Gutierrez I., Garsia de Andres C., Capdevila C. Acicular Ferrite Formation in a Medium Carbon Steel with a Two Stage Continuous Cooling. Scripta Metall. et. Materialia. 1999, vol. 41, no 3, pp. 229-235. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646201010831
8. Rodriguez-Ibabe J. M. Materials Science Forum 284-286. pp.51-62. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X98800655
9. Prasa S. N., Medirata S. R., Sarma D. S. Influence of austenitisation temperature on the structure and properties of weather resistant steels. Material Science and Engineering A358, 2003, pp. 288-297. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509303003034
10. Lis Andrzey K. Mechanical Properties and microstructure of ULCB steels affected by thermomechanical rolling, quenching and tempering. Journal of Materials Processing Technology. 2000, vol. 106, pp. 212-218. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013600006166

Статтья рекомендована до друку: 06.07.2015 р.
Рецензент д. фіз-мат. н. Башев В. Т.
Поступила в редколегію: 20.06.2015 р. Принята к печати: 24.06.2015 р.