УДК [691.714:620.18:669.018.58-122-418]:621.77.016.3

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-142-148

© В. Е. Гордиенко, д-р техн. наук, профессор

© V. E. Gordienko, Dr. Sci. Tech., Professor

© А. А. Абросимова, канд. техн. наук, доцент

© A. A. Abrosimova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© А. П. Щербakov, ассистент

© A. P. Scherbakov, assistant lecturer

© Е. В. Трунова, зав. лабораторией

© E. V. Trunova, laboratory head

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: val-gor@yandex.ru, anzhelicka.abrosimova@yandex.ru,

E-mail: val-gor@yandex.ru, anzhelicka.abrosimova@yandex.ru,

shurbakov.aleksandr@yandex.ru, Elena.trunova.80@mail.ru

shurbakov.aleksandr@yandex.ru, Elena.trunova.80@mail.ru

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ИСХОДНОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ

ON THE ISSUE OF CORROSION TESTS OF STRUCTURAL STEEL BRANDS WITH DIFFERENT INITIAL MICROSTRUCTURE

Проведен анализ литературы и рассмотрены основные положения, которые следует учитывать, выбирая оптимальный метод коррозионных испытаний конструкционных сталей, а также состав и свойства коррозионной среды, условия работы металлических конструкций (МК) и температуру проводимых испытаний. При оценке степени коррозионных повреждений следует учитывать не только контролирующий фактор, но и способы ускорения электрохимических реакций агрессивными компонентами или деполяризаторами, а также увеличением времени контактирования исследуемой поверхности образца с используемым электролитом. Для конструкционных сталей рассмотрены основные методы коррозионных испытаний, выбран наиболее приемлемый метод, включающий полное погружение образцов в электролит, и приняты соответствующие количественные показатели скорости коррозии и коррозионной стойкости конструкционных сталей, находящихся в различных структурных состояниях. Выбраны виды предварительной обработки сталей для получения в них структур, характерных для реальных сварных МК.

Ключевые слова: конструкционные стали, исходная структура, термоциклическая обработка, рекристаллизационный отжиг, коррозионные испытания, коррозионная стойкость металла.

The article presents the results of carried out analysis of literature and highlights the main provisions that should be taken into account when choosing the optimal method of corrosion tests of structural steel brands, as well as the composition and properties of the corrosive environment, the working conditions of metal structures (MS) and the test temperature. In assessing the degree of corrosion induced damage, not only the controlling factor should be taken into account, but also ways of accelerating the electrochemical reactions with aggressive components, or depolarizers, as well as by means of increasing the contact time of the test sample surface with the electrolyte used. For structural steels, the main methods of corrosion tests are considered, and the most acceptable method is chosen, which includes a complete immersion of samples in the electrolyte, and appropriate quantitative indicators of corrosion rate and corrosion resistance of structural steels in different structural conditions are adopted. There have been selected the types of pre-treatment of steel to obtain the structures which are characteristic for real welded MS.

Keywords: structural steel brands, initial structure, thermal cycling treatment, recrystallization annealing, corrosion tests, corrosion resistance of metal.

Строительные машины в зависимости от технологического назначения подразделяются на следующие основные группы [1]: машины для земляных работ, грузоподъемные машины и механизмы, транспортирующие машины непре-

рывного транспорта, погрузочно-разгрузочные машины и др. Поэтому сварные металлические конструкции таких машин обычно эксплуатируются в различных условиях нагружения: статических, динамических, ударных и циклических

при агрессивном воздействии различных коррозионных сред. При этом исходная структура элементов сварных МК и различных зон сварных соединений может быть с крупным размером зерен, мелкозернистой и деформированной на разную степень, а в сварных швах — литой, что, соответственно, по-разному определяет механические свойства сталей и их коррозионную стойкость [2]. В связи с этим объективная оценка влияния исходной микроструктуры конструкционных сталей на коррозионные свойства металла является весьма актуальной задачей.

Существующие методы исследования коррозионных процессов подразделяют на три группы: внелабораторные (полевые) исследования, эксплуатационные (натурные) и лабораторные исследования [3].

Наибольшее распространение получили лабораторные исследования, которые позволяют получать сравнительно хорошо воспроизводимые данные и с их помощью определять влияние тех или иных факторов (химического состава сталей, агрессивной коррозионной среды, температуры и др.) на развитие процессов коррозии [4]. Однако идентичность получаемых результатов исследований сильно зависит как от правильного выбора методов лабораторных испытаний, так и способа оценки скорости коррозии и коррозионной стойкости по различным показателям.

Правильный выбор метода коррозионных испытаний требует учитывать следующие основные положения [5]:

1. Выбранный метод должен учитывать состав и свойства коррозионной среды, в которой будет проходить работа сварной металлоконструкции. Так, длительная эксплуатация сварных МК в промышленной атмосфере, характеризующейся наличием в ней сернистого ангидрида, хорошо растворяющегося в электролите и сильно изменяющего характер катодного процесса, значительно отличается от эксплуатации в морской атмосфере, содержащей частицы NaCl и оказывающей основное влияние на протекание анодного процесса. Следовательно, сварные металлоконструкции, рассчитанные на длительную эксплуатацию в различных условиях, следует испытывать с учетом различия агрессивности рабочих коррозионных сред, а испытания свар-

ных МК, эксплуатируемых в северных районах, следует испытывать при низких температурах, характерных для условий Севера.

2. Выбранный метод испытаний также должен отражать условия работы сварных металлоконструкций. Так, например, коррозия, протекающая в атмосферных условиях при переменных температурах и наличии конденсирующейся влаги, значительно отличается от той, которая происходит на металлоконструкциях, смачивающихся брызгами речной или морской воды [6]. Вследствие этого, в данном случае необходимо выбирать и различающиеся методы проводимых испытаний.

3. Выбираемые методы, а также режимы коррозионных исследований должны давать возможность прохождения коррозионных процессов с наиболее высокой скоростью. Так, для МК, длительно эксплуатируемых в атмосферных условиях, металл должен как можно дольше подвергаться агрессивному воздействию в тонких слоях электролита. При этом следует учитывать, что толщина пленки на металле не должна сильно уменьшаться, так как в этом случае будет происходить замедление процессов коррозии [7].

4. Выбирая метод ускорения процесса коррозии на поверхности металла, следует учитывать контролирующий фактор. Так, наиболее часто скорость коррозии определяется наименее замедленной электрохимической реакцией — анодной или катодной, которая в таком случае является контролирующей и которую необходимо ускорять.

5. С целью повышения скорости электрохимических реакций в процессе испытаний следует применять агрессивные компоненты или деполяризаторы. Так, например, для имитации морского воздуха следует применять NaCl, для промышленной атмосферы — сернистый газ, что повышает скорость коррозионного процесса в десятки и сотни раз.

6. Однако в процессе испытаний не следует значительно ускорять коррозионные процессы, так как уменьшение времени проводимых испытаний за счет повышения агрессивности среды ведет как к изменению состава и структуры продуктов коррозии, так и к их распределению по поверхности образца.

7. Используя температурный фактор для существенного увеличения скорости коррозии,

необходимо учитывать тот факт, что скорость прохождения электродных реакций с увеличением температуры до 60 °С повышается, а затем снижается за счет уменьшения растворимости кислорода в электролите.

8. Искусственное ускорение процесса коррозии конструкционных сталей не должно изменять механизм коррозии.

Многие методы экспериментальных исследований ведут при полном или периодическом погружении образцов в электролиты. Следует подчеркнуть, что полностью погружать образцы целесообразно тогда, когда исследуемые стали будут эксплуатироваться в подобных условиях. Однако в случаях, когда процессы коррозии идут с кислородной деполяризацией, необходимо учитывать следующие обстоятельства [8]:

1. Ограниченная растворимость кислорода в электролитах, которая при 20 °С составляет 8–9 мг/дм³, в связи с чем в не размешиваемом электролите сравнительно быстро снижается концентрация кислорода, и поэтому процесс коррозии значительно замедляется. Следовательно, ускорение испытаний в таких случаях следует проводить или за счет движения жидкости, или за счет вращения испытываемых образцов. Если невозможно перемешивание электролита для увеличения доставки кислорода к поверхности образцов, это можно восполнить за счет добавки в применяемый электролит деполяризаторов. В частности, проводя испытания в морской воде или 3%-ном растворе NaCl, туда обычно добавляют 0,1%-ный раствор перекиси водорода [9]. Для ускорения катодных реакций также используют сернистый ангидрид, атомарный хлор или кислородосодержащие анионы.

2. Температура проводимых испытаний может как ускорять, так и уменьшать скорость коррозии: до 60 °С она способствует повышению, а выше 60 °С — понижению за счет резкого снижения концентрации кислорода в агрессивной среде.

Проводимые испытания требуют учитывать состав коррозионной среды, в которой предполагается работа сварной металлической конструкции, однако при этом необходимо добавлять в состав среды тот компонент, который для исследуемой стали является наиболее агрессивным. Так, если металлоконструкция из малоуглеродистой стали эксплуатируется в морской воде,

то в лабораторных условиях часто используют 3%-ный раствор NaCl; а если в речной воде, содержащей меньше хлоридов, но больше сульфатов, то для проведения коррозионных испытаний применяют раствор, содержащий 30 мг/дм³ NaCl и 70 мг/дм³ Na₂SO₄. Следует подчеркнуть, что ускоренные коррозионные испытания с полным погружением образцов в электролит нашли широкое распространение, так как не требуют при своем исполнении сложной аппаратуры.

Метод периодического погружения образцов в коррозионные среды чаще всего используют при испытании металла сварных металлоконструкций, предназначенных для работы в атмосферных условиях, в судостроительной промышленности или в гидротехнических сооружениях. При периодическом погружении образцов основное разрушение металла происходит в видимых пленках электролитов, возникающих на поверхности образцов из-за попадания атмосферных осадков или из-за колебаний температуры, приводящей к охлаждению воздуха и выпадению росы. Вследствие периодической смены тонкого слоя электролита облегчается доступ кислорода не только из-за образования тонкой пленки электролита, но и из-за ее размешивания в процессе смачивания. Сравнительно высокие результаты наблюдаются, когда 15–20 % времени испытываемые образцы погружены в электролит и 80–85 % времени находятся на воздухе в тонкой пленке раствора [10].

Коррозию стали при полном погружении в электролит можно ускорить, если повысить температуру до 5–60 °С. При этом наиболее сильное повышение скорости достигается при 20–40 °С. На скорость коррозии большое влияние оказывает частота смачивания образцов. Так, по данным [10], самое высокое повышение скорости коррозии поверхности металла происходит, если смачивание образцов осуществляется один раз в час. Повышение частоты смачивания образцов приводит к более равномерному распределению коррозии на поверхности образцов. Согласно ГОСТ 9.308–85 при проведении ускоренных испытаний обычно применяют 3–5 %-ный раствор NaCl.

Следует подчеркнуть, что важным делом является не только правильный выбор метода испытаний конструкционных сталей, но и выбор показателей коррозии и коррозионной стойко-

сти, которые, согласно ГОСТ 9.908–85, требуют учитывать не только исходную структуру и химический состав сталей, но и состав коррозионной среды, температуру испытаний, величину и вид механических напряжений.

Коррозионная стойкость сталей характеризуется качественными показателями, при этом их выбор определяется как видом коррозии, так и соответствующими эксплуатационными требованиями.

Сплошную коррозию определяют потерей массы на единицу поверхности Δm , кг/м², по следующей формуле:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S}, \quad (1)$$

где m_0 — масса образца до испытаний, кг; m_1 — масса образца после испытаний и удаления продуктов коррозии, кг; S — площадь поверхности образца, м².

Этот показатель является простым и надежным, так как непосредственно указывает количество металла, разрушенного прошедшей коррозией, и обычно используется при наблюдении за ходом коррозии малоуглеродистых сталей, цинка и меди [11].

Показатель коррозионной стойкости находят по следующей формуле

$$\tau_m = \frac{\Delta m}{v_m}, \quad (2)$$

где τ_m — время до уменьшения массы на единицу площади на допустимую величину Δm , год; v_m — скорость убыли массы, кг/(м² · год).

Возникающие продукты коррозии удаляют в соответствии с ГОСТ Р 9.907–2007, применяя для каждого конкретного случая свой метод: механический, химический (с использованием растворов определенного состава), электрохими-

ческий (под действием специальных растворов и постоянного электрического тока).

Количественным показателем сплошной коррозии, в нашем случае, была принята потеря массы на единицу площади, скоростным показателем — скорость уменьшения массы, показателем коррозионной стойкости — время до уменьшения массы на допустимую (заданную) величину.

Для проведения лабораторных испытаний были выбраны широко применяемые в строительстве, машиностроении и других отраслях промышленности низколегированные стали 10ХСНД, 09Г2С и малоуглеродистые Ст3, 20, 10, 08, имеющие разные категории прочности, а также повышенные и обычные антикоррозионные свойства. Химический состав сталей представлен в таблице.

Необходимо отметить широкий спектр предполагаемого назначения исследуемых сталей, который простирается от сталей с низкими прочностными свойствами, используемых для ненагруженных деталей (сталь 08), до сталей, пригодных для изготовления элементов сварных МК, отвечающих требованиям повышенной прочности и коррозионной стойкости и работающих при температурах от –70 до +450 °С (сталь 10ХСНД).

Реальные сварные металлические конструкции обычно изготавливаются из заводского проката, который поставляется в различных состояниях [12]:

- горячекатаный;
- холоднокатаный;
- после термической обработки холоднокатаных листов;
- после термической обработки с прокатного нагрева;

Химический состав сталей

Марка стали	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
10ХСНД	0,10	0,64	0,56	0,006	0,013	0,65	0,53	0,44
09Г2С	0,11	0,68	1,33	0,008	0,015	0,03	0,02	0,03
Ст3	0,14–0,22	0,15–0,30	0,40–0,65	0,050–0,045	0,040–0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,30
20	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,040	≤0,030	≤0,25	≤0,30	≤0,30
10	0,08	0,09	0,45	0,02	0,014	0,03	0,02	0,04
08	0,05–0,12	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,040	≤0,035	≤0,10	≤0,30	≤0,30

- после закалки с высоким отпуском (улучшение);

- после нормализации,

что и определяет исходную микроструктуру конструкционных сталей (мелкозернистую, деформированную, крупнозернистую) и, следовательно, различные механические свойства металла.

Поэтому при анализе влияния исходной структуры сталей на их коррозионную стойкость все образцы исследуемых сталей проходили различную предварительную обработку, позволяющую получить исходную структуру сталей с заданной степенью дисперсности:

- без предварительной обработки (состояние заводской поставки);
- высокотемпературный отжиг;
- нормализация;
- отжиг + термоциклическая обработка (ТЦО), три и шесть циклов;
- нормализация + ТЦО, три и шесть циклов;
- закалка + высокий отпуск (улучшение) для стали 20;
- холодная пластическая деформация сталей на степень 20 и 50 %;
- деформация на степень 20 и 50 % + ТЦО, три и шесть циклов;
- деформация на степень 20 и 50 % + рекристаллизационный отжиг.

Как было показано в работе [13], в результате такой обработки в конструкционных сталях 10ХСНД, 09Г2С, Ст3, 20, 10, 08 формируется различная исходная структура (с крупным размером зерен, мелкозернистая и деформированная). В процессе работы отмечено, что независимо от исходной структуры и химического состава в исследуемых конструкционных сталях после ТЦО образуется наиболее мелкозернистая структура с высокой степенью дисперсности. При этом наибольшие изменения микроструктуры сталей наблюдаются в течение первых 3–6 циклов ТЦО, а дальнейшее увеличение числа циклов менее значительно измельчает структуру, но уменьшает разнородность сталей.

Измельчение зерен при ТЦО способствует повышению прочности металла конструкционных сталей. В работе [14] установлено, что с увеличением числа циклов ТЦО происходит повышение прочностных свойств как углеродистых, так и легированных сталей, но при числе циклов

более 3–6 приращение прочностных свойств сталей значительно замедляется.

Поэтому оптимальными режимами ТЦО в нашем случае будут три и шесть циклов, которые были взяты за основу для получения мелкозернистой структуры в исследуемых сталях. ТЦО можно использовать при обработке сварных соединений из конструкционных сталей для повышения равнопрочности различных зон сварных соединений [15]. При рекристаллизационном отжиге для малоуглеродистых сталей оптимальной была температура 700 °С, для низколегированных — 725 °С.

Для оценки влияния исходной структуры исследуемых конструкционных сталей на их коррозионную стойкость была разработана методика ускоренных коррозионных испытаний.

Выводы

1. Проведен анализ литературы и рассмотрены основные положения, которые следует учитывать при выборе методов ускоренных коррозионных испытаний конструкционных сталей.

2. Показано, что правильно выбранный метод должен учитывать не только состав и свойства коррозионной среды, но и условия работы металлоконструкции, а также температуру проводимых испытаний.

3. Для конструкционных сталей 10ХСНД, 09Г2С, Ст3, 20, 10, 08 рассмотрены методы коррозионных испытаний и способы ускорения электролитных реакций агрессивными компонентами или деполяризаторами.

4. Выбран метод испытаний, включающий в себя полное погружение образцов в электролит, а также приняты количественные показатели коррозии и коррозионной стойкости конструкционных сталей.

5. Выбраны виды предварительной обработки исследуемых сталей с целью получения в них мелкозернистой, деформированной и крупнозернистой исходной структуры, характерной для реальных сварных металлоконструкций.

Библиографический список

1. Волков Д. П., Крикун В. Я., Волкова Н. А., Крикун А. Д. Строительные машины и средства малой механизации. Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. 480 с.

2. Кравцов В. В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. 157 с.

3. Розенфельд И. Л., Жигалова К. А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М.: Металлургия, 1966. 348 с.

4. Стеклов О. И. Механокоррозионная прочность и мониторинг крупногабаритных конструкций повышенной экологической опасности // Защита металлов. 1996. № 4. С. 352–357.

5. Улиг Г. Г., Ревы Р. У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: пер. с англ. / под ред. А. М. Сухотина. Л.: Химия, 1989. Пер. изд., США, 1985. 456 с.

6. Томашов Н. Д. Коррозия металлов с кислородной деполяризацией. Л.: Химия, 1989. 456 с.

7. Федосова Н. Л., Румянцева К. Е., Балмасов А. В. Анतिकоррозионная защита металлов. Иваново: ИГХТУ, 2009. 187 с.

8. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: ООО ТИД «Альянс», 2006. 472 с.

9. Неверов А. С., Родченко Д. А., Цырлин М. И. Коррозия и защита материалов. Минск: Высшая школа, 2007. 222 с.

10. Бахвалов Г. Т., Турковская А. В. Коррозия и защита металлов. М.: Металлургиздат, 1947. 400 с.

11. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии / под ред. И. В. Семеновой. М.: Физматлит, 2002. 336 с.

12. Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2001. 672 с.

13. Гордиенко В. Е., Абросимова А. А., Трунова Е. В., Щербakov А. П. К выбору конструкционных сталей для изготовления сварных металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 233–238.

14. Гордиенко В. Е., Абросимова А. А., Кузьмин О. В., Трунова Е. В., Щербakov А. П. Влияние термической и термоциклической обработки на механические свойства конструкционных сталей // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 1 (66). С. 128–133.

15. Гордиенко В. Е., Абросимова А. А., Трунова Е. В. Влияние термоциклической обработки на структурные изменения пластически деформированных сварных соединений металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 174–180.

References

1. Volkov D. P., Krikun V. Ya., Volkova N. A., Krikun A. D. *Stroitel'nye mashiny i sredstva maloy*

mekhanizatsii [Construction machines and small-scale machinery]. Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2014, 480 p.

2. Kravtsov V. V. *Korroziya i zashchita konstruktivnykh materialov. Printsipy zashchity ot korrozii* [Corrosion and protection of structural materials. Principles of corrosion protection]. Ufa: UGNTU Publ., 1999, 157 p.

3. Rozenfeld I. L., Zhigalova K. A. *Uskorennye metody korroziionnykh ispytaniy metallov* [Accelerated methods of corrosion tests of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966, 348 p.

4. Steklov O. I. *Mekhanokorroziionnaya prochnost' i monitoring krupnogabaritnykh konstruktivnykh povyshennoy ehkologicheskoy opasnosti* [Mechanic-corrosion resistance and monitoring of large-scale structures of high environmental hazard]. *Zashchita metallov – Protection of metals*, 1996, no. 4, pp. 352–357.

5. Ulig G. G., Revi R. U. *Korroziya i bor'ba s ney. Vvedenie v korroziionnuyu nauku i tekhniku* [Corrosion and corrosion control. Introduction to corrosion science and technology]. Transl. fro English by Sukhotin A. M. Leningrad, Khimiya Publ., 1989.

6. Tomashov N. D. *Korroziya metallov s kislorodnoy depolyarizatsiey* [Corrosion of metals with oxygen depolarization]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989, 456 p.

7. Fedosova N. L., Rumyantseva K. E., Balmasov A. V. *Antikorroziionnaya zashchita metallov* [Anticorrosion protection of metals]. Ivanovo, IGKhTU Publ., 2009, 187 p.

8. Zhuk N. P. *Kurs teorii korrozii i zashchity metallov* [Course of the theory of corrosion and protection of metals]. Moscow, Al'yans Publ., 2006, 472 p.

9. Neverov A. S., Rodchenko D. A., Tsyrlin M. I. *Korroziya i zashchita materialov* [Corrosion and protection of materials]. Minsk, Vyshehyshaya shkola, 2007, 222 p.

10. Bakhvalov G. T., Turkovskaya A. V. *Korroziya i zashchita metallov* [Corrosion and protection of metals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1947, 400 p.

11. Semenova I. V., Florianovich G. M., Khoroshilov A. V. *Korroziya i zashchita ot korrozii* [Corrosion and protection against corrosion]. Ed. by Semenova I. V. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002, 336 p.

12. Koloskov M. M., et al. *Marochnik staley i splavov* [Brands of steel and alloys]. Ed. by Zubchenko A. S. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001, 672 p.

13. Gordienko V. E., Abrosimova A. A., Trunova E. V., Shcherbakov A. P. *K vyboru konstruktivnykh staley dlya izgotovleniya svarnykh metallicheskiykh konstruktivnykh mashin* [About selecting of structural steels for the production of welded metal designs of construction machines] *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 6 (65), pp. 233–238.

14. Gordienko V. E., et al. *Vliyanie termicheskoy i termotsiklicheskoй obrabotki na mekhanicheskie svoystva konstruktivnykh staley* [The influence of thermal and thermal-cycle processing on the mechanical properties

of structural steel]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 1 (66), pp. 128–133.

15. Gordienko V. E., Abrosimova A. A., Trunova E. V. *Vliyanie termotsiklicheskoy obrabotki na strukturnye izmeneniya plasticheski deformirovannykh svarnykh soedineniy metallicheskikh konstruktsiy stroitel'nykh mashin*

[The influence of thermocyclic treatment on structural changes in plastically deformed welded joints of building machine metal construction]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 174–180.